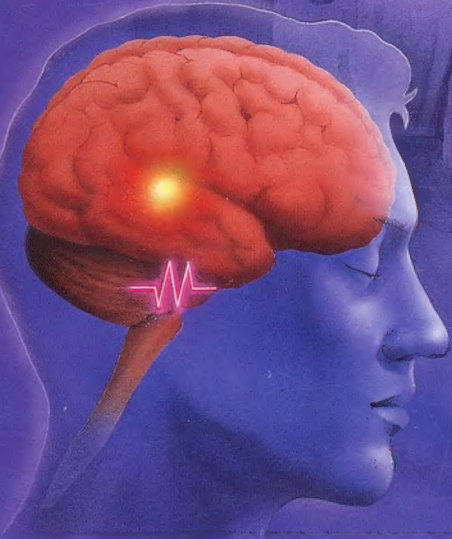
ISSN 0286-0651
1992年12月7日発行　毎月7日発行　第12巻第13号
昭和56年8月10日第3種郵便物認可

Newton

GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

12 1992/December
Vol.12 No.13

完全保存版
世界の宇宙開発計画

夢と眠りの秘密

聖書の考古学 第2弾

シルクロード 楼蘭への旅

イルカの知能はどのくらい？

KYOIKUSHA

980円

氷河をつくる風

パタゴニアに吹く風、ヒマラヤ
そして南極に吹く風――。さまざまな性質や表情を
持った地球上の風系に、乱れが生じるとどうなるか?
気候変動による影響は、われわれに
全人類的に深刻な問題を提起している。

パタゴニア氷河は風の芸術

南米大陸を象の頭にたとえれば、その鼻先にあたる南緯45~55度付近の地域はパタゴニアと呼ばれる。少し奇妙な語感を持つこのパタゴニアとは、〝巨大な足〟を意味するスペイン語。16世紀にマゼランがこのあたりを通過したとき、近辺のインディオの足がとても大きかったことから命名されたという話は有名だ。

語感だけでなくパタゴニアの気候は、きわめて特異である。太平洋岸を南北に連なるアンデス山脈を境に、東のアルゼンチン側は乾燥したステップ草原、西のチリ側は入江や島の多いフィヨルド海岸で、山岳地帯では大小の氷河が形成されている。谷をぬい森林地帯を抜けてフィヨルドの海に落ち込む氷河は実に壮観である。

パタゴニアの氷河は、地域をめぐる風がつくりあげた芸術である。この地方は南半球の偏西風帯にあたる。南半球の偏西風帯は陸地が少なく、パタゴニアには強い偏西風が吹き寄せる。広い太平洋で水蒸気をたっぷり含んだ偏西風は、アンデス山脈にぶつかり、上昇気流となって雲を生み、一年を通じてチリ側に多くの雨や雲をもたらすのだ。

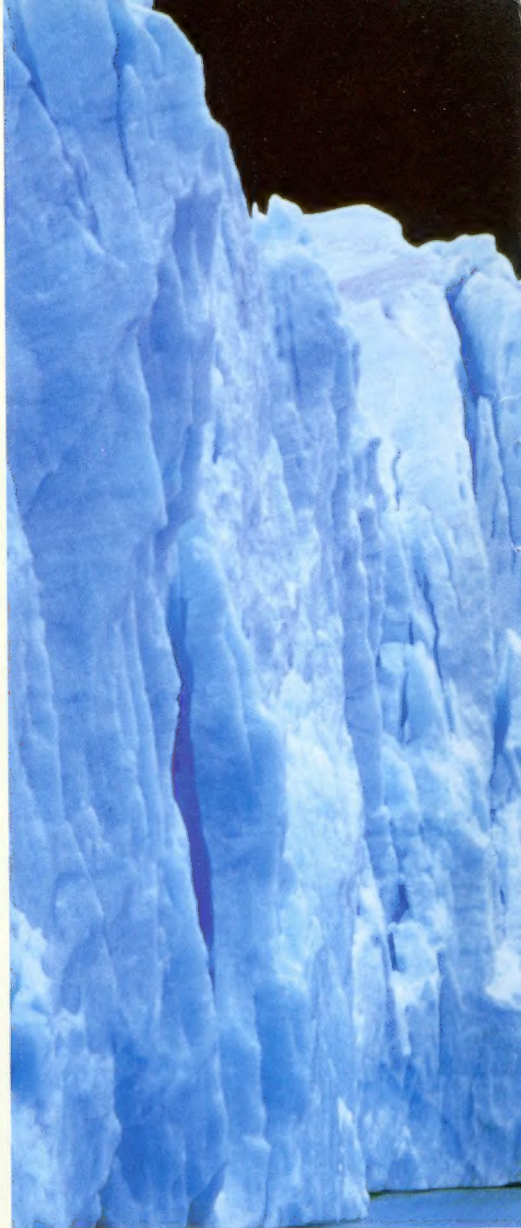
偏西風は定常的に吹くため、山岳地帯には毎日のように雪が供給される。年間30~40mにも及ぶ積雪が、南極、グリーンランドに次ぐ地球で3番目の規模の氷河を形成したのである。

ところが、人工衛星などからの情報を解析してみると、パタゴニアの氷河はこの20~30年間で著しく後退しているという。しかも、その速度は北米やヨーロッパ・アルプスの氷河の10倍以上。20年間で10km以上も後退しているものもある。これはいったい何が原因なのか。

際立つ南極の温暖化

異変はヒマラヤ氷河にもみられる。

ふつう氷河は冬季に成長しそうに思うが、ヒマラヤ氷河は逆である。インド洋からの夏の季節風が谷を昇り、ヒマラヤの大山塊にぶつかってできた雲が、高山に雪を降らせて氷河を発達させている。降雪は夏のモンスーン期に集中するため、夏雪型氷河ともいわれる。

しかし、ヒマラヤ氷河は夏に発達するため、氷河の下部では雪とはならず雨となる場合もある。この雨が融かしたのか、あるいは積雪量が少なくなったのか明らかではないが、ヒマラヤ氷河のなかには異常とも思える後退を続けているものがあるのだ。これを地球温暖化の影響と考えるのは短絡的である。しかし、ヒマラヤ周辺の風系に擾乱が生じているのは確かなようだ。

たとえばヒマラヤ山脈沿いの、高度1万mあたりには毎秒50m、ときには100mを超える強風が西から東に吹いている。いわゆるジェット気流である。このジェット気流は、冬季は山脈の南側を通るが、夏季になると北上して、オホーツク高気圧をつくる。日本では梅雨にはいり、さらに北上すれば梅雨明けとなる。

ところが、冬から春にかけて、この東西方向のジェット気流が、ヒマラヤ山脈を越えて南下、大きく蛇行することがある。このときジェット気流は、強いオロシ風となって地上付近に吹き降りて、人家を破壊するなどの被害をもたらす。

ジェット気流は、地形などの影響によって、分流したり合流したりして、地球をめぐっている。ジェット気流の蛇行が、地球規模の風系の変化を意味するのかどうかは未解明である。しかし、近年の北半球の異常気象は、ジェット気流の蛇行と関連があるともいわれている。

地球の氷河の大部分を占める南極でも異変が起きている。南極での気象観測は1950年代に始まったばかりだが、1960年ごろから温暖化が顕著に観測されるようになったのである。

南極にはカタバ風という特有の風が、数千kmものスケールで大陸斜面を吹き降りていて、巨大な風系を形成している。氷床上では人が立っていられないほどのブリザードを生む烈風である。

南極氷床上の気温変化を観測するために、このカタバ風の分布も調べられているが、研究は始まったばかりの段階だ。衛星観測が進歩した今日でさえ、南極氷床は拡大しているのか縮小しているのかさえ明らかではないのだ。

もし、このまま地球温暖化が続くと、21世紀末には極地以外の氷河は半分以下に縮小してしまうという予測がある。海水面は1mも上昇し、数千万人もの人々が環境難民となって移住せざるをえなくなるという。

気候変動による影響は、全人類的なものとなる。世界の穀倉地帯は亜熱帯化して大幅に減産、深刻な食料危機に見舞われるともいわれる。また、台風も大型化するといわれるが、近ごろサイクロンやハリケーンの被害がやたらと多いのは、その前兆なのだろうか。(文／吉岡安之)

左の写真はパタゴニアの氷河。

梅雨の話は早すぎるが、本文にもあるように初夏から多くの雨をもたらす梅雨前線は、ヒマラヤ山脈からアリューシャン列島まで駆け巡る長大なもの。「オホーツク高気圧と太平洋高気圧の間に形成された前線」と、簡単には説明できない。梅雨前線の形成には、巨大なヒマラヤ山塊の南部から東に伸びる対流圏下層の強風ゾーンの亜熱帯ジェットと寒帯ジェットという二つの偏西風が、季節によって南北に変位することに始まる。風下に位置する日本にとっては、梅雨の一時だけでなく、毎日の天候に関わることだ。
12月ごろから関東平野は、雨の少ない乾いた晴天が続く。梅雨時のような湿った天候は不快感を与え、カビや細菌の活動が活発で不衛生となり、神経痛など持病の人々には辛い季節でもある。
日本の平均年間降水量は、1600〜1700ミリ。世界の平均800ミリに比べるとかなり湿った国である。雨が多く湿った日本の風土で暮らしていると、濡れることは当たり前くらい日常的なことなのだが、日本人は雨に対して、過剰なほど防衛策をたてる。これは、日本の雨が強すぎるからと、関口武は著「気候と文化」のなかで述べている。だからと言って梅雨が無い方がよいとはいえない。雨が降らないと干ばつのため西日本を中心として、田植えが難しくなる。米1トンの生産には、2000トンほどの水が必要である。雨の少ない夏を前にした梅雨の価値は大きく、水道など日常生活にも大いに関係する。1年間に地上から蒸発する水の量は、およそ4×10^{19}グラムで大気水蒸気の約3倍にあたる。大気中には、水蒸気の形で陸上の約3/100の13×10^{18}グラム程度の水分が含まれている。地球の水の97%、およそ13.7億km^3が海水。淡水はわずか3%、しかも2%余りは南北両極などの氷が占めている。人類と陸上生物の命をささえている1%にも満たない水を汚すことを、許していいのだろうか。
写真は、ディジタル表示の高精度温度・湿度モニタ、TDK製MASHIE-88M/C。測定範囲：温度－20〜＋60℃・精度±0.5℃〔－10〜＋60℃〕。相対湿度10〜90%・精度±3%〔25℃〕。アナログ信号を出力でき記録することができるほか、インタフェースユニットを接続することによりパソコンへの接続も可能。センサ部を60m離して観測することもできる。単3乾電池2個駆動でおよそ2年間〔計測5秒間隔〕動作、ACアダプタも用意されている。　(みやした)

Newton 12 1992
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

発行人／辻 裕久　編集人／竹内 均
発行所／株式会社教育社　〒189 東京都東村山市恩多町1-12-3

Newton 12月号 Vol.12 No.13 1992年12月7日発行

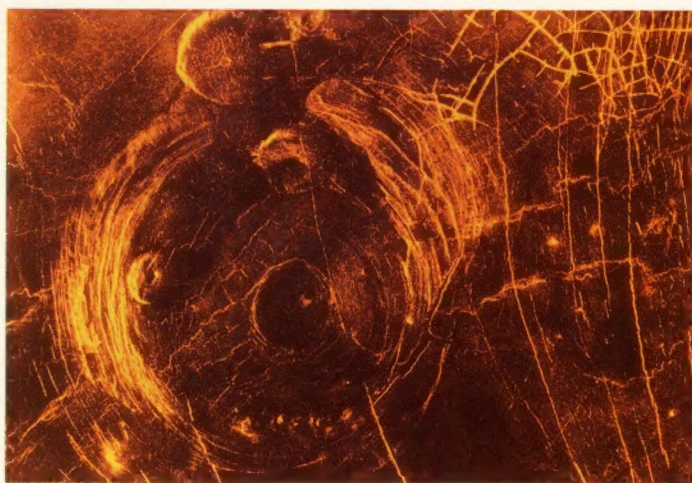
金星の谷

金星に地球の海溝に似た地形がある。同じような地殻運動があるかもしれない。

●*Science* 1992年8月7日号

惑星探査機マゼランの探査によって，金星には地球のようなプレート・テクトニクスが存在しないことがわかった。しかし部分的には似たような過程がおきているらしい。アメリカ，カリフォルニア大学のデイヴィッド・サンドウェル博士らが，金星の地殻変動について報告している。

金星には「コロナ」とよばれる円形をした火山性の台地が多数存在している。コロナの大きさは，直径 100～1000 キロメートルであるが，大きなコロナは周囲が谷で囲まれているものが多い。この谷が地球の海溝と地理的によく似ていることがわかった。海溝は，惑星の表層部分である「リソスフェア」がマントルに沈みこんでできる地形である。

博士らは金星の谷の地形についてモデル計算を行い，この谷の地形もリソスフェアの沈みこみで説明できることを突き止めた。火山噴出物の堆積によって，コロナの下のリソスフェアが沈みこんでいるらしいと博士らは語っている。

金星のアフロディテ大陸にあるコロナ。直径は200キロほどもある。

マグロの体温調節

マグロがみごとな体温調節を行うようすが，はじめて明らかにされた。

●*nature* 1992年7月30日号

マグロは変温動物であるが，周囲の水温や自身の活動に応じて，生理的に体温調節を行っていると考えられている。このほどアメリカ，ハワイ海洋生物学研究所のキム・ホランド博士らが，メバチマグロの体温調節のようすをはじめて明らかにした。

マグロは血管系の熱交換器により，体温を水温より高く保つことができる。静脈血は交換器内で筋肉の運動によって温められる。そのため動脈血の温度も上昇する。この交換器は深海のような水温の低い場所ではたらくが，水面近くの高温の場所では停止し，体温をすみやかに調節する。

このようにマグロの体は，水温の変化に合わせて体温を調節できるようになっている。またマグロは，体の熱伝導度を 2 桁まですばやく変化させることができることもわかった。このようにしてマグロは深海から浅海，北から南まで広範囲の場所で活動し，えさをさがすことができるのだと博士らはのべている。

世界一若い深成岩

日本アルプスに登れば，世界で最も若い深成岩体がみられることがわかった。

●*Geology* 1992年7月号

深成岩はマグマが地底の深い場所でゆっくり冷却されてできる。そのため深成岩が地表にあらわれるのは，冷却後かなり時間がたってからである。地表でみられる深成岩体の大部分は，1 億～1000 万年以前に生成されたものである。このほど工業技術院地質調査所の原山智博士は，深成岩体としては世界で最も若い花崗閃緑岩体が，日本アルプスに存在していることを確認した。

博士は日本アルプスの西穂高岳（2909 メートル）付近にある「滝谷花崗閃緑岩体」を調査した。この岩体は標高 1450～2670 メートルの高地にある。西穂高岳をつくっている安山岩の下方に分布し，南北方向に広く露出している。

この岩体をつくったマグマが貫入したのは，約 240 万年前と考えられている。日本アルプスは第四紀中期以降，年に 3 ミリずつ急上昇している。そのため滝谷岩体のような，できてまもない深成岩体が高地に出現したのだろうと博士は考えている。

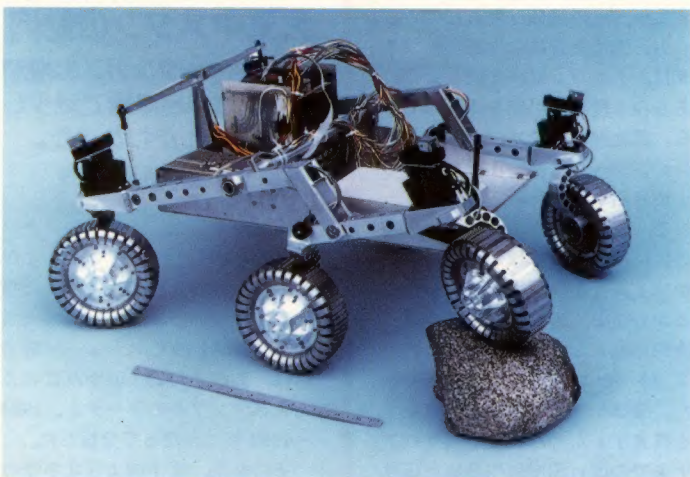
火星探査ロボット

火星の環境調査を行うための新しいロボット「ロッキーIV」が開発された。

●*NASA News* 1992年6月24日号

NASA（アメリカ航空宇宙局）のジェット推進研究所では，このほど新しい惑星探査ロボット「ロッキーIV」の開発に成功した。ロッキーIVは火星の環境調査を目的とした「ムジュール計画」の一環として，1996 年に打ち上げられる火星探査機の原型となる。

ロッキーIVは長さ約 60 センチ，重さ約 7.5 キロの小型のローバーで，6 個の金属製の車輪で駆動する。車体は特殊なサスペンションで支えられるため，起伏のはげしい地形でも安定した走行が行える。また行動制御システムにより，断崖やクレバスなどを自動的にさけて移動することもできる。

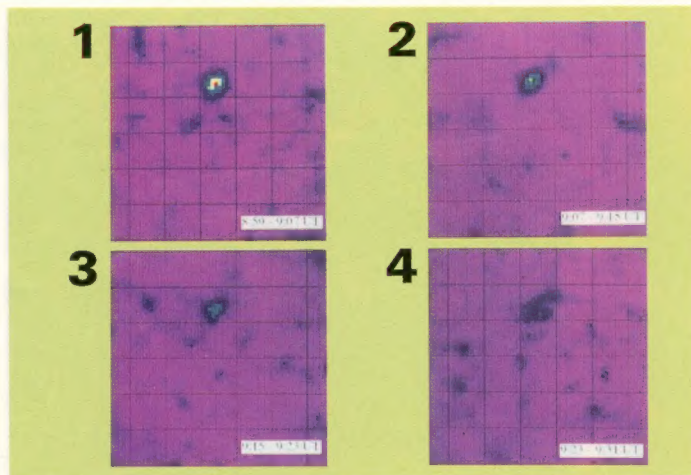
火星表面では分光器やビデオカメラによる観測以外に，岩石や土の採集，地震計の設置などの作業を行うことになっている。ジェット推進研究所では，火星表面に似せた特殊な実験場で，実地試験を行う予定である。この試験ではローバー単体の性能だけでなく，制御命令の問題などの統合的な機能の評価も行うことになっている。

1996年に打ち上げられる火星探査ロボットの原型「ロッキーIV」

なぞの太陽ガンマ線

観測衛星コンプトンが，なぞの太陽ガンマ線アフターグローを発見した。

●*NASA News* 1992年7月15日号

NASAが打ち上げたガンマ線観測衛星コンプトンが，1991年6月11日におきた太陽フレア爆発の際に，なぞの「ガンマ線アフターグロー」を観測した。

このアフターグローは太陽フレア爆発のあと5時間以上にわたって，高エネルギーのガンマ線を放出しつづけ，その4日後にも同様の現象が観測された。

1〜4へと1時間以上つづいた1991年6月の太陽のガンマ線アフターグロー

アメリカ，ニューハンプシャー大学のジェイムズ・ライアン博士が，このガンマ線アフターグローの原因について報告している。博士によると，フレア爆発の際に陽子のエネルギーが約1億電子ボルトにまで高められたと考えられる。そしてこの陽子が磁力線の中にたくわえられたために，ガンマ線のアフターグローがおきたらしい。

博士の仮説が正しければ，このアフターグローは地球のバンアレン帯で，陽子がたくわえられる現象と同じであると考えられる。しかしガンマ線の放出が，非常にゆっくりであるところがことなっていると博士は語っている。

超巨大ブラックホール

系外銀河NGC3115に超巨大ブラックホールが存在しているらしい。

●*NSF News* 1992年7月9日号

NGC3115は，六分儀座（ろくぶんぎざ）にある系外銀河で，地球から約3億光年のところに位置している。アメリカ，ハワイ大学のジョン・コーメンディ博士らは，このほどNGC3115の精密な観測を行った。

その結果，NGC3115は高速で自転運動をしていることがわかった。しかも銀河の中心に近い星ほど高速で運動しているらしい。さらにこの自転運動をコンピューターを用いて分析した結果，銀河の中心部の非常にせまい領域に大きな質量が存在しないかぎり，このような星の自転運動を説明することができないことがわかった。これらのことは太陽の1億〜10億倍の質量をもつ超巨大ブラックホールが，NGC3115に存在している可能性を示している。

銀河中心にあるブラックホールがこのように成長するには，大量の物質を吸いこまなければならない。したがってNGC3115はかつての成長期にはクェーサーであって，非常に明るく輝いていたにちがいないと博士らは考えている。

ふえつづける世界人口

世界人口はいぜんとして増加をつづけており，新しい対策が必要である。

●*Science* 1992年8月7日号

第二次世界大戦後の世界人口の増加率は，1950〜1960年代の上昇期，1970年代の下降期，1980年代の停滞（ていたい）期という3期に分けられる。人口増加率の停滞は今後の人口増加の可能性を意味しており，人口過剰が深刻な問題となっている。

アメリカ，ロックフェラー大学のS.ホリウチ博士が，人口増加率が停滞期に入った主な原因を報告している。

中国とインドでは1970年前後に出生率の低下がはじまった。しかし1980年には，低下の割合が減少したことが停滞の第一の原因である。第二の原因は1950〜1960年代のベビーブームに生まれた人々が，親の世代になったことである。第三の原因は1970年代以降，出生率が低下する国がほとんどなく，一方サハラ砂漠周辺や南アジアの国々では，いぜんとして出生率が高いことである。今後はこの第三の要因を解消するために，これらの国々の社会経済の発展と家族計画の実施をはかることが重要であると博士は考えている。

ゴリラとチンパンジー

アフリカに生息する大型類人猿の採食生態から，進化の過程が解明された。

●学術月報 1992年9月号

アフリカに生息するゴリラとチンパンジーは，遺伝学的には似ているが，社会的・生態学的にはことなった特徴をもつ。これら大型類人猿の採食生態について，武蔵大学の丸橋珠樹（たまき）助教授が報告している。

ゴリラは繊維質の草本植物と低木の葉を基本的な食料とする。山地林のゴリラの場合，果実も採食するが，その種類は限られている。一方，低地熱帯林に生息するゴリラは，チンパンジーと同じようにあらゆる種類の果実を採食している。低地熱帯林では，ゴリラとチンパンジーはたがいに似た採食や土地利用などを行っていた。

こうしたことからゴリラは，繊維質に富んだ草本類が多く，果実がほとんどない環境で進化したことがわかる。そして熱帯林へは二次的に進入したと考えられる。チンパンジーは熱帯林で進化してきた。果実や葉のほかに，昆虫なども採食するため，森林からサバンナまでの広い環境に生息域を広げることができたのだろう。

大気中メタンの動向

大気中のメタンガスの増加率が，過去8年間で減少していることがわかった。

●*nature* 1992年7月23日号

産業革命以来，大気中のメタンガスは増加しつづけている。しかし増加の原因については，まだ明らかではない。アメリカ海洋大気局（NOAA）のL.スティール博士らは，地球上の約1万か所におよぶ大気サンプルのデータを，1983〜1990年にわたって分析した。

その結果，南半球より北半球のほうがメタンガスを大量に含むことがわかった。また北半球でも高緯度地帯の上空のほうが，低緯度地帯より多く含むことも明らかになった。しかし意外なことに，メタンガスの増加率は，地球全体では過去8年間で減少していることもわかった。

とくに減少しているのは赤道から南緯30度までの地域，次いで赤道から北緯30度までの地域である。また北緯30〜90度の範囲のメタンガスの起源は，明らかに人間活動に関係していると考えられる。この地域で増加率が減少していることは，石油や石炭などの化石燃料の開発とも関係しているようであると博士は指摘している。

高速度パルサーの起源

銀河円盤に向かって高速運動をしているパルサーの起源が解明された。

●*Science* 1992年8月14日号

パルサーは，大質量星が超新星爆発をおこしてできると考えられている。大質量星は銀河円盤の中で生まれる。そのためパルサーは，銀河円盤中で生まれるのが普通である。しかし銀河円盤から大きくはなれた場所にも，パルサーが存在することが観測されている。

こうしたパルサーの中には，銀河円盤に向かって高速度で運動しているものがある。超新星爆発によってパルサーが大きな速度を得た場合，その運動は銀河円盤から外に向かうはずである。したがってこれらのパルサーの正体は，これまで不明であった。このほどイスラエル，ベングリオン大学のデイヴィッド・アイヒラー博士らが，銀河円盤に向かって運動しているパルサーに関する研究を発表した。博士らによると，パルサーの正体はわれわれの銀河の誕生時に形成された星のなれの果てであると考えられる。またガンマ線バーストとよばれるなぞの現象も，こうしたパルサーによって引きおこされる可能性があるという。

結核大流行の予感

薬剤耐性菌による結核患者が急増している。結核大流行がおきるかもしれない。

●*nature* 1992年8月13日号

結核は発展途上国で防ぐことのできる死亡の4分の1を占めている。また免疫不全であるエイズ感染者の結核感染や死亡が増加している。結核治療薬としては，「イソニコチン酸ヒドラジド（INH）」が広く使用されている。しかし最近，この薬に対して耐性を示す結核菌が発見された。この薬剤耐性の結核菌の出現によって結核が大流行するおそれがあるため，世界的な問題になっている。すでにアメリカ国内では，耐性菌による結核患者の死亡が急増しているところもある。

このほどイギリス，ロンドンのハマースミス病院王立医学校のユイン・チャン博士らが，薬剤耐性の結核菌を研究した。その結果，この耐性が「カタラーゼ」という酵素をコードする遺伝子の欠損によるものであることがわかった。通常，この遺伝子によってINHへの感受性が得られる。博士らの成果は重要であり，今後の研究によって耐性菌による結核の増加をくい止められる可能性を示している。

人工光合成システム

太陽光エネルギーによって水を燃料化する人工光合成システムが開発された。

●理研ニュース 1992年8月号

二酸化炭素の増加による地球温暖化など，環境破壊が心配されている。これらはエネルギー資源問題とも密接な関係がある。こうした問題を解決する一つの方法として人工光合成系の製作があると，理化学研究所の金子正夫副主任研究員が報告している。

人工光合成系の研究で遅れていたのは，酸素を発生させる反応である。理化学研究所では，さまざまなマンガンやルテニウムの多核錯体を，高分子膜中に分散して用いた。その結果，水を酸化して酸素を発生させる効率の高い触媒を得ることに成功した。

この触媒を可視光励起系とつなげると，太陽光エネルギーによって水を燃料化することができる。水を電子供給源とし，太陽光をエネルギー源としている点では光合成と同じであるため，二酸化炭素を還元しなくても人工光合成とよぶことができる。この人工光合成システムは，二酸化炭素問題の解決に有力なシステムとなるため，今後の成果が期待されている。

新しい核融合炉の開発

新しいエネルギー源をめざす国際熱核融合実験炉計画がスタートした。

●*DOE News* 1992年7月21日号

日本，ヨーロッパ共同体（EC），ロシア，アメリカは「国際熱核融合実験炉（ITER）計画」を共同で進めている。

ITER計画の目的は，強力な磁場をつくりだすことにより，外部からほとんどパワーを注入しなくても，核融合を持続できる実験炉を開発することが目的とされている。この計画が実現されると，太陽エネルギーと同等の核融合炉ができることになる。

この実験炉は1990年までに概念設計が完了し，1992年から本格的な工学設計活動が開始された。工学設計とその開発に要する費用は12億ドルにおよぶ。

ITER計画はECを中心とした参加国の共同研究チームが推進し，実際の研究や開発は各国の研究機関によって行われる。2025年までには，技術的にも経済的にも確立したエネルギー源を完成することが目標とされている。また2040年までには商業化レベルで，エネルギーを供給できるようにすることをめざしている。

ナミテントウの模様

ナミテントウの雌は，季節によって模様の好みを変化させることがわかった。

●インセクタリウム 1992年9月号

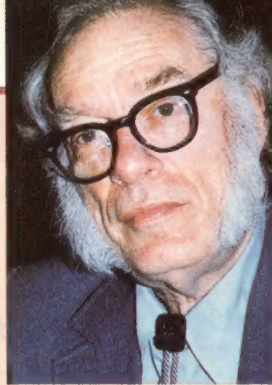
テントウムシ類の模様は「色斑」とよばれ，同じ種の個体どうしでも，いくつかのパターンに分けられる。京都大学の大澤直哉研修員が，東北アジアに広く分布する「ナミテントウ」の色斑のもつ意味について調査報告している。

ナミテントウの色斑は，2紋型，4紋型，紋型，紅型の四つに大きく分けられる。越冬した春世代とそれから産まれた夏世代をくらべると，夏世代に紅型の個体がふえ，それ以外のものが減少していることがわかる。こうした変化から，ナミテントウの雌が選択的交尾を行っていると考えられる。

2紋型，4紋型，紋型，紅型の4種類の色斑模様をもつナミテントウ

このことを確認するために，配偶選好性の実験が行われた。その結果，越冬した春世代の雌は紅型の雄を好むが，夏世代の雌は色斑型のちがいに選好性を示さなかった。また雄はいずれの場合も選好性を示さなかった。

このことからナミテントウの場合，色斑型頻度の季節変動に雌の配偶選好性の季節変化が関係していることが確認された。

アシモフの科学コラム

アイザック・アシモフ

世界的に有名な科学ジャーナリスト。1992年4月死去。科学エッセイやSF小説など著書は400冊以上に上る。

この原稿はアシモフ博士が亡くなる以前にNewtonへ届いたものです。

空から石が降ってくる!

大量絶滅をもたらす隕石衝突がふたたびおきるかもしれない

空から石が降ってくる！　何と奇妙な考えだろう。

昔からときどきそういった話はあったが，どれも幽霊や妖精の話と同様にあつかわれていた。そんなことがありうると考えるまともな科学者は，1800年までは1人としていなかった。実際，エール大学の2人の教授がトーマス・ジェファーソンにそのような落下物があったことを報告すると，この人並みはずれた合理主義者はこういった。「空から石が降るなどということを信じるくらいなら，アメリカの大学教授にうそつきが2人いると思うほうがましだ」

しかしこの件に関しては，ジェファーソンがまちがっていた。この教授たちは正しかったのだ。そして1800年代の初期には，隕石の落下は広く認められた事実となっていた。

空から石が落ちてくるからといって，心配する必要はない。隕石はきわめて小さなものだし，地球はとてつもなく大きいのだ。隕石の衝突が重大な被害をもたらす確率は，実際上ゼロといってよいことが当時すでにわかっていた。

この考えは1980年に修正された。およそ6500万年前に直径10～20キロほどの小惑星か彗星が地球に衝突し，地球上の全生物が死に絶えかねないほどの大惨事をもたらしたと考えられるようになったのである。当時生きていた全生物のおよそ80％とともに，恐竜もすべて死滅してしまった。

そこで気になることが一つ出てくる。かりにそのようなことが過去にあったとしたら，またおきるのではないだろうか？　実は隕石の落下による「大量死」はたびたびあったらしい。なかには恐竜を絶滅させたものよりひどいものもあったようだ。生物の進化には隕石落下が不可欠だと考える科学者すらいる。ほとんどの生物が死に絶え，地球上が閑散としても，生き残るものが必ずいる。たいていは小型の生物で，それが繁殖と進化によって新しい生物相をつくりあげる。

しかし私たちは「大量死」を試すわけにはいかない。文明が破壊され，人類が絶滅するようなことはあってほしくない。もちろん今すぐそういうことがおきると心配する必要はない。大隕石の落下は20万年に1回程度しかないと推測されているからである。しかし今，私たちにねらいを定めた彗星が絶対にないとはいいきれない。なんの予告もなく，いきなり落ちてくるのだからこわい。

彗星の衝突によって死ぬ確率は6000分の1で，飛行機事故で死ぬ確率の3倍だと推定する人もいる。

1908年に中央シベリアで大爆発があった。これは直径100メートルぐらいの小さな彗星が爆発・分解してガス化し，数キロにわたって上空に舞い上がったものと考えられている。地球全体に影響をおよぼすにはほど遠いとはいえ，何キロにもわたって周囲の木がなぎ倒された。幸い死者が1人も出なかったのは，たまたまその地域に人が住んでいなかったからにすぎない。もしこの彗星の落下が30分遅かったら，サンクトペテルブルク（旧レニングラード）に

命中して，信じられないような惨事を引きおこしただろうと考える人もいる。

地球の公転軌道とまじわる軌道をもち，直径1～2キロ近くある小惑星その他の天体は，77個しか知られていない。しかし人によっては，そういった天体は1000個もあるはずだという。

それならば天文学者たちは，こういった天体の位置と軌道を突き止めることを優先すべきだと皆さんは思うだろう。しかしそれが実行されていないことからもわかるように，人々は隕石のことをあまりおそれてはいない。非常に費用がかさむことも理由の一つだ。天体写真の撮影には1枚につき200ドルかかる。それらしい天体を宇宙の中からみつけだすのに，いったい何枚写真を撮ればいいのかは神のみぞ知るといったところだ。

かりに空をくまなく調べ，私たちにねらいを定めている天体を発見したとしても，何ができるのだろう？　今のところ何もできない。ただ耳をふさいで，ドカンとくるのを待つしかない。

いつの日か技術がさらに進歩して，危険な彗星に出会っても水素爆弾か何かでそれをこなごなにできるようになるかもしれない。その破片が軌道上にとどまって地球に降ってくる可能性もあるが，小さなものであれば，打ち上げ花火程度なので，こわがる必要はない。しかしこれは少し楽観的すぎるかもしれない。直径1～2キロほどのものを爆破してもかなり大きな破片が残るはずで，地上に相当の被害をもたらすであろう。元の大きさでぶつかるよりはましにしても，あまり歓迎はしたくない。

もう一つの手段として，小惑星を“ずらす”という方法がある。すぐ近くで爆発をおこして軌道を少しかえ，地球にぶつからないようにするのである。

一方これとは別に，小惑星探査計画が立てられつつある――少なくとも提案されている。探査しても衝突の確率はわからないだろうが，小惑星についてもっと知識がふえれば，それだけ私たちは豊かになるような気がする。

それに小惑星には利用価値があるかもしれない。多くはどの惑星よりも地球に近づくので，貴重な資源を簡単に，安く手にすることができる。ほとんどニッケルと鉄だけでできた金属性小惑星もある。あまり多くはないが，そこで手にすることのできる金属は，価値あるものだろう。

それにまた，死んでいるか死につつある彗星には大量の水が残っているかもしれない。宇宙にいるときには，それは非常にありがたいにちがいない。

小惑星が都市に落下する確率は低いが，まったくないとはいいきれない点が心配だ。

進むマイクロマシン研究

微小機械部品の加工技術やICの製造技術，さらには微生物の体をも利用して超ミクロの機械をつくるマイクロマシン研究。大型プロジェクトも動きだしている。

東京工業大学精密工学研究所教授　林　輝

微小世界の機械，マイクロマシン。

人はさまざまの大きさの機械をつくってきた。小さな物は数ミリメートルの腕時計どまりであろう。生物の世界では数ミリメートルの昆虫，数マイクロメートル（1マイクロメートルは1000分の1ミリ）の細菌，さらに数ナノメートル（1ナノメートルは100万分の1ミリ）の筋原線維など，微小な動く物が数億年前から活動している。この微小生物のような，私たちの意のままに動く機械が実現できないであろうか。

1966年に『ミクロの決死圏』という映画が上映された。しかしこれを実行してみようとする人はいなかった。しかし状況はかわった。精密工学の分野では，走査型トンネル顕微鏡でナノメートルの測定や加工を行えるようになった。分子生物学の分野では，数十ナノメートルの細菌鞭毛（べんもう）モーターの構造を明らかにした。半導体工学の分野では，シリコン基盤上に直径数十マイクロメートルの静電モーターをつくれるようになった。微小機械「マイクロマシン」の実現に使えそうな技術があらわれてきたのである。

医療分野の微小領域の検査や手術をはじめ，産業用の配管内作業にも微小な機械の要求が高まってきた。そして通産省が大型プロジェクトの研究課題にマイクロマシンを取り上げたため，各所でいっせいに研究開発がはじまった。

1800年代から微小機械はあった。

よくマイクロマシンの大きさを問われる。マイクロマシンとは，まだつくられたことのない微小な機械の総称である。それは数ミリメートル以下から数ナノメートルと広い範囲にわたり，原理，構造，製作，用途も大きさによりさまざまになろう。

マイクロマシンの過去を振り返ってみよう。1800年代後半にスイスではすでに数ミリの大きさの腕時計をつくっていた。わが国でも1800年代前半につくられた40ミリぐらいの大きさのゼンマイじかけのカエルのおもちゃが残されている。1930年代にはドイツのツァイス社が顕微鏡のステージ上で細胞の解剖に使うマイクロマニピュレーターを出し，1950年ごろには日本のオリンパス光学工業が世界に先がけて内視鏡用の5ミリ幅フィルムのカメラを実用化した。こうして1970年代ごろからマイクロマシンの重要性が主張されはじめ，1980年代の精密工学，半導体工学，分子生物学分野の発展があったのである。

微生物の体を使う分子機械の研究

実用段階のマイクロマシンの出現はしばらくあとになろう。現在，次の三つの分野で研究開発が進んでいる。その一つは，腕時計などの微小部品機械の加工技術でマイクロマシンを試作するものである。

昆虫のあしのつめにかけられた直径0.2ミリの微小歯車。ICの製造技術を使ってアメリカで試作された。

外形寸法が10ミリ以内の走行機械をつくっているグループがある。ここが中心になり「山登りマイクロメカニズムコンテスト」を開いている。この中で，外形7ミリの超音波モーターや，形状記憶合金を使った4足や8足の昆虫型機械，同じく形状記憶合金を使ったウナギ型管内走行機械，形状記憶合金と粘着性キャタピラーを使った壁面走行機械がつくられている。腕時計の動力部を使った無線操縦の物もできた。この分野は現在の技術に連続した領域であり，まもなく役立つ物が出てくるであろう。

二つ目はIC（集積回路）製造技術の応用分野である。ここではICの製造方法を使って，直接さわることなくシリコン基盤上に直径50マイクロメートルの静電モーターなどをつくった。この研究はマイクロマシンが注目されるきっかけとなった。この分野では使える材料と形状が限られるが，センサーや微小なアクチュエーター（駆動(くどう)装置）はすでに実用化している。マイクロマシン製作の中心となるのはしばらく先のことになろう。

三つ目は分子機械の分野である。分子生物学で解明された微小生物やその体の一部の人工的な合成はマイクロマシンの有力な手段である。

分子を部品としてナノメートル技術で加工し組み立てたり，遺伝子DNA（デオキシリボ核酸）で制御された生物の増殖機能を利用するなどが考えられている。これらの各分野の研究は協力しながら進める必要がある。

現在，医療関係では各種のカテーテル（管状の器具）や内視鏡にかわる「マイクロ走行カプセル」，微小手術（マイクロサージェリー）用の「マイクロマニピュレーター」などの開発が緊急の課題になっている。産業用の配管，航空機の隔壁内部などの「保守検査用走行マイクロマシン」や，その他の宇宙探査や深海探査でもマイクロマシンは有利であろう。

1個ずつでは非力なマイクロマシンも集積すれば強力なものになる。将来は微小走行機械をおりこんだ走るじゅうたんも夢ではない。マイクロマシン細胞を集積してデリケートな機能をもった「集積機械（IM）」が，ICのように私たちの生活に入りこんで快適な環境をつくってくれるであろう。

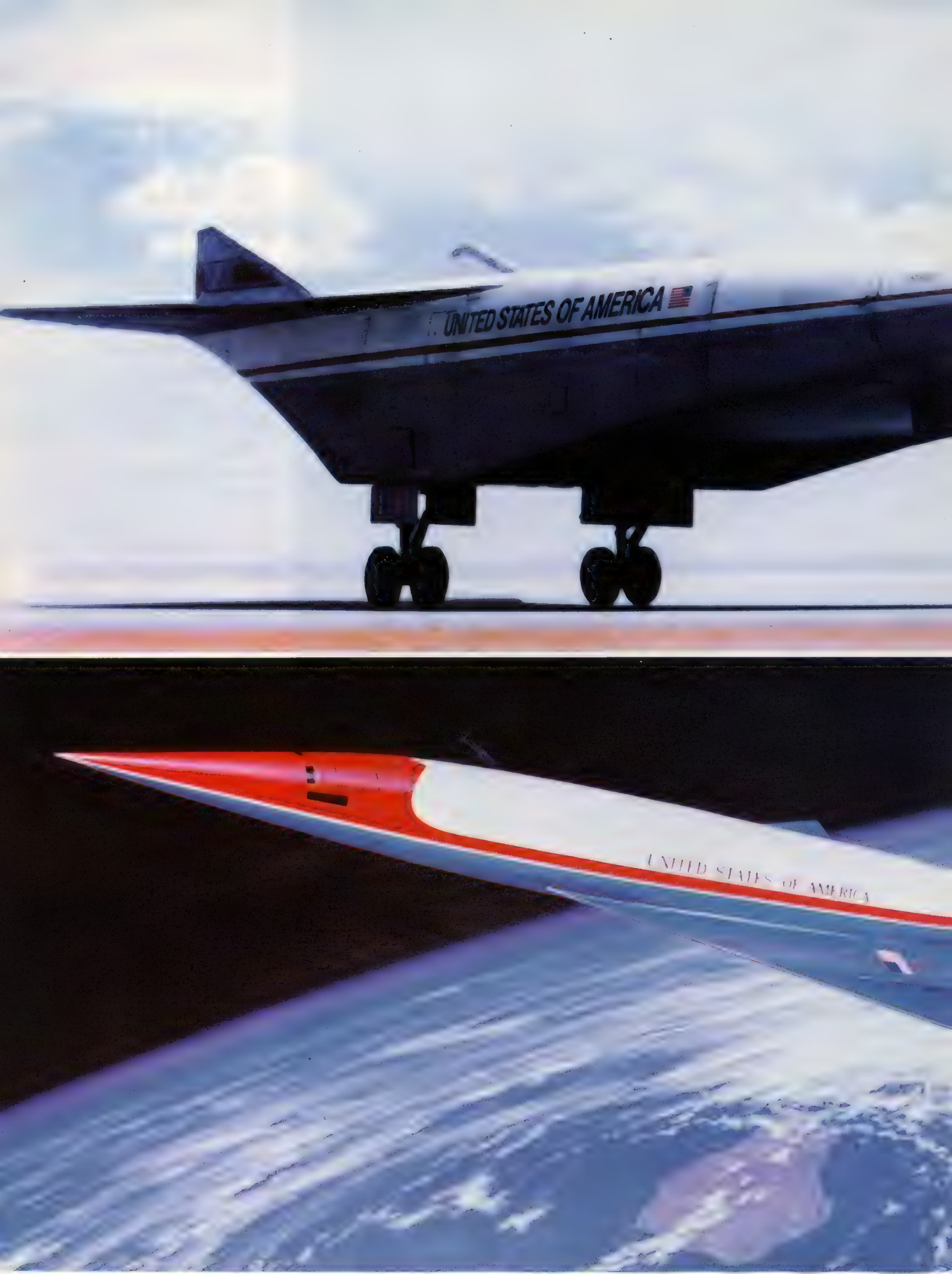
SUPER VISION

X-30計画が進行中

アメリカのスペースプレーン実験機「X-30」の研究開発計画が進められている。

アメリカはスペースシャトルの次をになう宇宙往還機スペースプレーンの研究開発計画を進めている。スペースプレーンとは地上から飛行機のように水平に離陸して宇宙に到達し，帰りは大気圏に再突入して地上に水平に着陸する21世紀の乗り物である。1999年から動きだす予定の宇宙ステーション「フリーダム」へ貨物を運んだり，故障した人工衛星を回収したりする任務をもっている。

アメリカは2人のパイロットが乗り組み，高度500キロほどの宇宙空間を音速の20倍以上の速度で飛行する実験機「X-30」をまず最初に開発する予定である。左は地球軌道上を飛行するX-30の想像図である。

UNITED STATES OF AMERICA
UNITED STATES OF AMERICA

X-30は今までの航空機とはまったくちがった,平らな機体「リフティングボディ」をもつ。

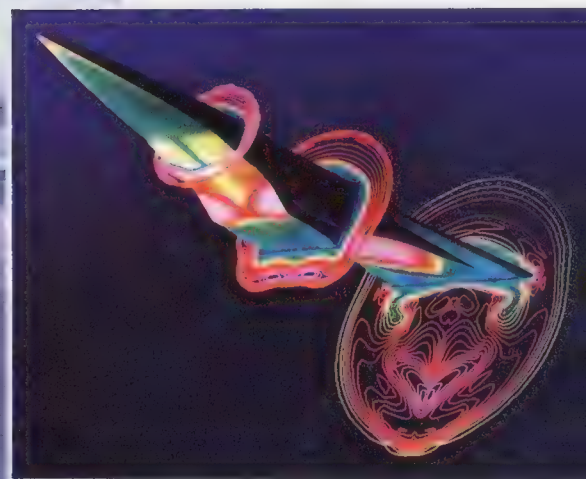
X-30の研究を進めているNASA(アメリカ航空宇宙局)はこのほど，実験機の模型を公開した(左上)。X-30は今までの航空機とはまったくちがった「リフティングボディ」とよばれる平らな機体をもつ。この機体は翼だけでなく機体自身が揚力を発生させるように設計されている。そのため主翼が非常に小さいのがX-30の特徴になっている。

実験機X-30は,レーガン前大統領が1986年に提唱した「国家航空宇宙飛行機研究計画(NASP計画)」の一環として研究が進められている。NASP計画はロサンゼルスと東京を2時間で結ぶスペースプレーンの開発をめざすものである。レーガン前大統領はこのスペースプレーンを「オリエント・エクスプレス」(左下)とよんだ。

機体と一体化した新型のエアブリージング・エンジンの開発がX-30完成のかぎをにぎる。

X-30成功のかぎをにぎっているのが，新型のエアブリージング・エンジンの開発である。エアブリージング・エンジンとは飛行中に大気中の酸素を吸いこみ，搭載(とうさい)した水素燃料と混合させて燃焼させる新しいエンジンである。

今までのエンジンとちがって機体の下部に取りつけられ，エンジンと機体下面は一体化する。機体下面の前部は空気を圧縮してエンジンに送りこむ圧縮機の役割をもち，後部はエンジンから排出されたガスを増速する膨張(ぼうちょう)ノズルの役割をもつ。研究を進めているNASA（アメリカ航空宇宙局）のラングレー研究センターでは，スーパーコンピューターを使ってエンジンと機体の一体化シミュレーションを行っている（下）。

X-30は1990年代末に大気中でテスト飛行を行い，2000年以降に宇宙に飛びだす予定である。21世紀には，母港のエドワーズ空軍基地に帰還する雄姿がみられることだろう。

ZOOM & FOCUS

シルクロード

幻の都 楼蘭への旅

「西のかた陽関を出ずれば故人無からん」と王維の詩にうたわれた陽関からのながめ。陽関は敦煌の南西にあり，漢の時代には領土の西端に位置する重要な関門だった。西域へ向かう旅人にとって，中国に最後の別れを告げる地でもあった。

東西の文明が行きかい，激動する歴史の舞台となったシルクロード。その中に点在するオアシスの一つに，楼蘭という都市があった。シルクロードの要衝として繁栄をきわめながら，いつしか廃虚と化した楼蘭は，その栄枯盛衰の歴史ゆえに人々のあこがれをかきたててきた。砂漠とオアシスのシルクロードをたどり，楼蘭への旅に出かけよう。

監修 片山章雄 東海大学講師，東洋文庫研究員

赤く燃える炎の山，火焔山。その

姿は『西遊記』の物語を生んだ。

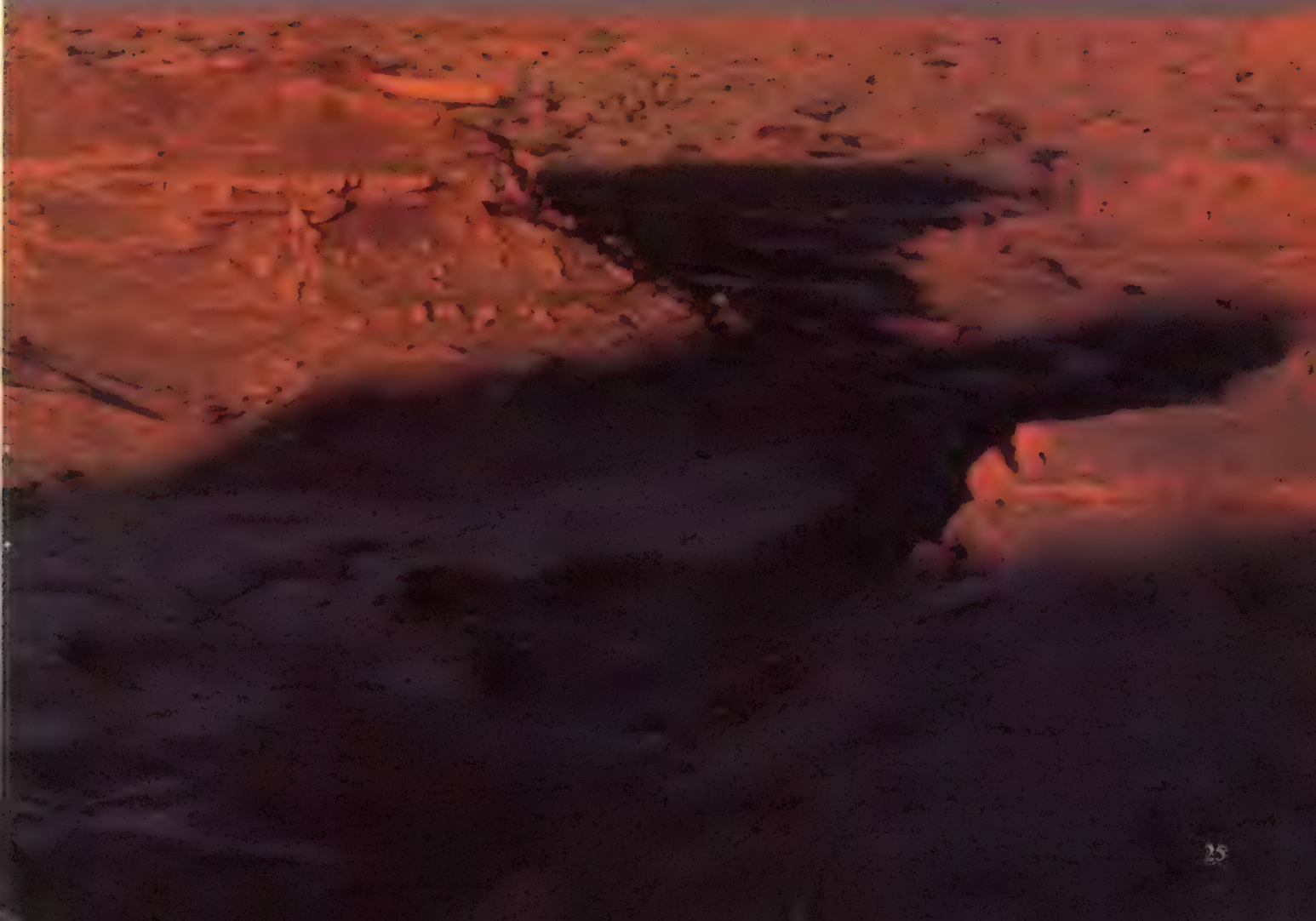
赤褐色のけわしい山肌をもつ火焔山は，トルファンの東北に約100キロにわたってつらなっている。『西遊記』には炎が燃えさかる山としてえがかれており，孫悟空が芭蕉扇であおいで炎を消し止めたとされている。この地方は現在でも暑さがきびしく，夏の日中には40度Cを軽くこえてしまう。過酷な暑さと乾燥した砂漠の中で，今も火焔山は燃える炎のようにゆらめいてみえる。

トルファン東部，火焔山のふもとにある高昌古城の遺跡。紀元前1世紀から1000年にわたって政治や文化の中枢として繁栄し，かの玄奘三蔵もインドへ向かう途中に立ち寄っている。しかし，現在はくずれた土壁がそのなごりをとどめるのみである。

荒涼と広がるヤルダンの中，楼蘭

夕日に赤く映える楼蘭古城の仏塔。この付近には，王宮跡らしい「三間房（さんげんぼう）」という遺跡や住居跡などがある。そのまわりには「ヤルダン（風化土堆群（どたい））」とよばれる地形が広がっている。

の仏塔は静かにたたずんでいる。

シルクロードのきびしい道程を経て，旅人たちは楼蘭(ロウラン)にたどり着いた。ここには漢人やイラン人をはじめ東西から多様な民族が集まり，絹や玉(ぎょく)などの交易品やたがいの文化をかわし合った。城郭(じょうかく)で囲まれた楼蘭城には仏塔がそびえ，高貴な人々の住居が建ち並んでいた。東西交流の拠点として栄華(えいが)を誇った楼蘭も，いつしか人々の心から消えていった。今はもう，その地には廃虚(はいきょ)が残るのみである。

乾燥と灼熱の大地に，豊かな

恵みをもたらすオアシスがある。

オアシス都市トルファンの一日が終わろうとしている。猛暑と乾燥の過酷な気候の中，カレーズ（灌漑（かんがい）用の地下水路）によって水を獲得した人々が緑豊かなオアシスをつくりあげた。かつての楼蘭にも，このように人々の生活が息づいていたにちがいない。

広い意味のシルクロードには，楼蘭を通るオアシスの道のほかに草原の道と海の道を含めた三つのルートがある。しかし，せまい意味ではオアシスの道をさす。楼蘭を中心とする地域を通るオアシスの道は，次のようだったと考えられている。

酒泉（チウチユワン），嘉峪関（チアユーコワン）から敦煌へつづく道は，敦煌で主に3本に分岐する。ハミへ向かう道と，漢代の関門である玉門関（ユーメンコワン）と陽関を抜ける二つの道である。ハミへ向かう道は，トルファンから天山（テイエンシヤン）山脈の南を通る「西域北道」とよばれる道になる。陽関を抜けた道はミーランから西へのびる「西域南道」につづく。そして玉門関を抜けた道は，陽関からの道と合流しロプノールを経て楼蘭に至る。楼蘭から西域へは，タクラマカン砂漠をさけて道は南と北に分かれ，それぞれ西域南道と北道に合流する。このように，西域南道と北道の間の地域には，楼蘭を中心とした横Y字形のルートができていたらしい。

敦煌から楼蘭へ。オアシスを結び，道はさらに西域へつづく。

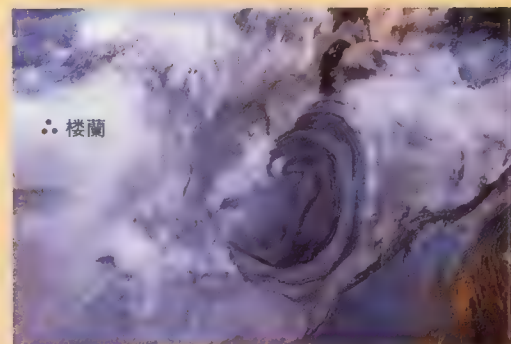
過酷な大地をこえるシルクロードでは，オアシスを結んでつづくいくつかのルートができていた。時代の流れに応じてルートは少しずつ変化した。4世紀ごろには，敦煌から西域へ向かう楼蘭を中心としたルートがあったとされている。さまざまな目的と感慨(かんがい)をもって旅をつづけた人々のドラマを秘めたまま，今この道は砂漠の中で眠っている。

文明の十字路，楼蘭の歴史と文化を探る。

楼蘭は古代西域に栄えた都市で，現在は中国領中央アジア，新疆（シンチアン）ウイグル自治区の砂漠の中で廃虚となっている。日本にはこの楼蘭を大きなテーマとして注目する独特の背景があり，その名を書名に含む本が最も多く刊行されている。大谷探検隊が発掘した楼蘭文書（もんじょ）は重要文化財となり，作家は楼蘭の名を小説の題にしている。この楼蘭の歴史的研究の成果はすでにある程度知られている。しかし，まだなぞの多い歴史・地理上の問題を紹介したり遺物を展覧するのも有益とされたため，最近も楼蘭に関するものに接する機会が幾度となくあった。

現在，楼蘭をめぐって豊富な資料と視点からさまざまな追究が試みられている。時代的には先史から4世紀ごろまでを中心に，今世紀の探検時代や現在に至るまで，自然地理，環境の面から人類学，考古学，歴史，地理，さらには地域文化や東西交渉などの分野で研究が進んでいる。ここでは楼蘭とその周辺の重要な点に限定して概略をみておこう。

東西交流の要衝，楼蘭の誕生

まず楼蘭にいつごろ，どんな人種や民族が住みついたのか。どこの地域でもそうであるように，先史時代の状況やその始源は不明であるが，少なくとも1万年も前から近辺に人が住みついた。「楼蘭の美女」のミイラが発見された鉄板河墓地や美少女ミイラの古墓溝は，約3800年前のものとされている。このころは陶器のない青銅器時代で，遺物や状況から，他地域との文化交流があり権力者も存在したと想定できる。両墓とも古いコーカソイド人種のものである。紀元前後の漢の時代になると，楼蘭古城の東北約7キロにある孤台墓地からモンゴロイド人骨が発見され，同時に漢の古銭や漢字が織りこまれた絹織物も出土している。東方との交流があったことの証拠の一つである。

現在のロプノールには水がなく，徐々に干上がった跡が耳のような形になってみえる。

楼蘭は激動の歴史を歩んだ。

楼蘭がはじめて中国の記録に登場するのは，これより先，紀元前176年のことである。北方の遊牧民族匈奴（きょうど）が漢の文帝にあてた手紙の中で，敦煌方面にいた月氏（げっし）民族を滅ぼし楼蘭も服属さ

楼蘭の南約50キロにある農村の跡。アシと胡楊（こよう）でつくられた家畜小屋のなごりである。周囲には白く塩が浮き出た砂漠が広がっている。

せたとしるしている。これは楼蘭が西域の要衝だったことを示している。有名な張騫の遠征で，楼蘭がロプノールにのぞむ城郭都市だということも伝わったらしい。ただ小国の悲しさ，匈奴と漢の間で争奪の的となり，前77年には王が殺されて漢の傀儡王国となった。国名も鄯善とあらためられた。

それ以後は，西暦1～3世紀前半の後漢時代にかけて西域支配が衰退し，しだいに記録が少なくなる。後漢以後の3世紀なかばから約1世紀間は，魏，晋，前涼という中国王朝の一つが西域長史という役人を置いていた。この時代，楼蘭は西域における中国王朝の重要な拠点だったのである。

楼蘭古城の推定復元図。水路が通り，仏塔や王宮らしい建物，住居などが並んでいた。

織物や木簡は歴史を物語る。

上述の漢字銘記の絹織物はこの後漢時代のものとされている。その中には西北インド系のカロシュティー文字がしるされたものもある。このカロシュティー文字は，楼蘭古城や遠くはなれた西域南道のニヤで多く発見されている。中国側の記述が減少した2～3世紀から4世紀までのものといわれている。このころ，楼蘭古城そのものは前漢時代の城郭を受けつぎながら，カロシュティー文字のにない手も含めて発展をとげた。3世紀なかばから約1世紀間は中国王朝の支配を受けたため，漢文の古文書や木簡も同時に発見されている。

漢文の文書や木簡からは，楼蘭のさまざまな側面がわかる。東西交渉という点では，政治・行政的支配のほかにも，織物の売買や東方の敦煌や酒泉を結ぶ文書郵送のルート，西方のカラシャールやクチャにつながる書信や情報などが注目される。わが国唯一の楼蘭文書である李柏文書は，4世紀前半，前涼の西域長史李柏にかかわるもので，西域諸国との人物や情報の往来がうかがえる。

楼蘭とその周辺から出土したこの時代の遺品は文字資料だけではない。さきにのべた孤台墓地のあたりで発見された3世紀ごろの毛織物には，商業神ヘルメスらしい像がギリシア・ローマ風にえがかれている。そして4世紀には，楼蘭を中心とした横Y字形のルートが明らかに完成する。東西交流の要衝としての楼蘭が最も栄えたのは，2世紀からこの4世紀ごろまでとされている。

しかし記録からたどれる楼蘭の歴史もそのころまでで，楼蘭古城に関していえば，4世紀後半以後はまたも不明の時代となってしまう。400年に法顕が「鄯善」の王城を通過したとあるが，これが楼蘭古城にあったかどうかは議論が分かれるところである。

それでは楼蘭はなぜ衰退したのか。ある人はロプノールの移動をあげるが，むしろ湖に注ぐ支流の間に位置して水路を利用した古城が，水路の変化に耐えられず遺棄されたというべきであろう。ほかにも自然条件の変化や，外敵の侵入も考えられる。

楼蘭の探究はつづく。

1900年に探検家ヘディンが発見して以来，ハンティントンやスタイン，日本の大谷探検隊の橘瑞超が楼蘭を訪れた。1920年代後半からは，中国・スウェーデン合同調査隊が入った。その半世紀後に中国隊が再調査し，それが継続されて現在に至る。これまでに中国内外の資料も整理・公開されており，すでにのべたように諸方面からこの地域の研究が進展しつつある。楼蘭の自然や歴史，さらにそのほかの多くのなぞも徐々に解明されることだろう。

楼蘭の東北，鉄板河墓地から発見された「楼蘭の美女」のミイラ。約3800年前の古いコーカソイド人種らしい。ミイラから復元したコンピューター画像は，生前の美しい面影をたたえている。

聖書の考古学

後編

シナイ山頂の夜明け。赤く染まった花崗岩の荒々しい山並みは、あまりにも雄大である。モーセはこのシナイ山において、神から「十戒」を授かった。

奇跡はほんとうにおきたのか？

竹内 均

モーセが大きく両手を上げると海が二つに割れ，陸地があらわれた……。伝説と考えられていた『旧約聖書』の物語は，ある程度史実にもとづいて書かれたものらしい。神によってなされた数々の奇跡は，実際におこりえたのだろうか？　聖書にしるされた物語の真実を解き明かす。

『旧約聖書』は紀元前12世紀ごろから前2世紀ごろへかけての約1000年間にわたって，イスラエル民族が書き残してきた記録である。その旧約聖書「創世記」中に出てくるエデンの園，ノアの洪水(こうずい)およびバベルの塔の物語は，それぞれ紀元前4000年ごろの高温期，紀元前3000年前後および前3000〜前2000年ごろのメソポタミア（ティグリス川とユーフラテス川の間の地帯，現在のイラク南部）でおきた事件を反映するものであると考えられる。

すなわちイスラエル人たちは，ウルに代表される現在のイラクの南部から，バビロンやマリに代表されるユーフラテス川中流部を経て，ハラン（現在のトルコ南東部）に代表される上流部へ落ち着いた。紀元前2000年ごろのことである。

旧約聖書に出てくるノアの子がセム，セムの子がテラ，テラの子がアブラム（アブラハム），アブラムの子がイサク，イサクの子がヤコブ，ヤコブの子がヨセフである。このうちテラはハランで亡くなり，その子アブラムは一族をひき連れてカナン（現在のパレスチナ）へきた。

この移動は紀元前2000〜前1800年ごろのことと考えられる。アブラムのひ孫にあたるヨセフは，エジプトの副王となっている。これは紀元前1700〜前1550年ごろのことと考えられる。ちょうどこのころ，エジプトはヒクソスとよばれるセム系を中心とした遊牧民によって，支配されていたからである。

モーセと紅海の奇跡

旧約聖書「出エジプト記」によれば，やがてエジプトに「ヨセフのことを知らないパロ（ファラオ，エジプト王）」があらわれ，エジプトにいたイスラエル人たちの迫害をはじめる。パロはイスラエル人たちを使って，倉庫の町ピトムとラメセスを建てさせた。それでもなお人口のふえるイスラエル人をおそれて，パロはエジプト人たちに，生まれたばかりのイスラエル人の男子をみつけしだい，これをナイル川へ投げ捨てるように命じた。このときイスラエル人の中のレビ族（祭祀(さいし)をつかさどる）の男の子として，モーセは生まれた。偶然の運命によって，彼はエジプトの宮廷で育てられ，やがて自分がイスラエル人であることを知った。

イスラエル人の奴隷(どれい)を虐待(ぎゃくたい)しているエジプトの監督を殺したモーセは，パロの目をのがれてミデヤンへ逃げ，そこで「イスラエル人をエジプト人の手から救いだして，約束の地へ行け」という神の命を受ける。エジプトへもどる途中で兄のアロンと会ったモーセはパロに会い，神の命にしたがって彼らをエジプトから去らせるようにたのんだ。パロがそれを聞き入れるはずもない。

そこでモーセは，濃い暗やみやブヨやカエルがエジプトを襲うなどの「十災」をおこしてパロにせまる。さすがのパロもついにイスラエル人たちの出エジプトを許す。イスラエル人たちはヨセフの遺骸(いがい)をたずさえてエジプトを出る。一度出エジプトを許したパロは，軍隊をひきいて彼らのあとを追い，ピハヒロテのあたりで追いついた。前方には海があった。そこでモーセが手を海の上へさしのべると，海が両側に分かれて陸地ができ，イスラエル人たちはこの陸地を渡った。追いかけてきたパロの軍隊が渡ろうとすると，海がもどってきて彼らは全滅した。

聖書学者たちは，出エジプトがおきたのはエジプト第19王朝のラムセス2世（紀元前1290〜前1224ごろ）のころと考えており，また奇跡のおきたピハヒロテは紅海沿いにあったと考えている。

しかしたとえば精神分析で知られたジグムント・フロイト（1856〜1939）は，出エジプトが古代エジプト第18王朝のアメンヘテプ4世（通称イクナートン，紀元前1375？〜前1358）の死の直後であり，紀元前1360ないし前1350年ごろのこととしている。さらにまたピハヒロテは，エジプトからカナンの地へ至る道すがらの，地中海に面したところにあるシルボニス湖であると考えている。

私もフロイトの考えに賛成である。いずれにしても，出エジプトの年代については約100年の不確定さがあり，また旧約聖書によれば，モーセのあとをついだヨシュアにひきいられたイスラエル人たちがカナンの地へ入ったのは，出エジプト後約80年のことである。もしかするとモーセの出エジプト後，何回かにわたるイスラエル人たちの出エジプトがあったのかもしれない。

乳と蜜の流れる約束の地

出エジプトの数か月後に，シナイ半島の南にあったとされるシナイ山に登ったモーセは，ここで神との間に「十戒」の契約を結んだ。この前後にモーセと彼のひきいる人々との間にいくらかの争いがあった。シナイ半島の荒野で水や食べ物がなくなったときに，人々はエジプトでの生活をなつかしみ，モーセを批判した。モーセがつえでかたい岩を打つと，そこから水がほとばしり出た。飛んできたウズラの大群や，マナとよばれるものが人々の食べ物となった。

契約の石の板を受け取るために，モーセとヨシュアが40日間シナイ山に登っている間に，人々は金の鋳物(いもの)で子ウシをつくり，それにささげ物をして異教の踊りを踊った。シナイ山からもどってきたモーセは，人々に命じて金の子ウシを焼かせ，契約の板をこなごなにして，ふたたびシナイ山へもどって新しい契約の板を受けてきた。

この後モーセたちは北へ向かい，オアシスのあるカデシ・バルネアに着いた。出エジプト後約2年のことであった。こ

有名なモーセの紅海渡り。エジプトを脱出したイスラエル人たちを，パロは戦車と騎兵とをひきいて追跡した。モーセが手を海の上にさしのべると，神は強い東風をもって海を退かせ，人々は海の中の道を進んだ。モーセがふたたび手を海にさしのべると，海はもとにもどり，彼らを追って海に入ったエジプト軍を飲みこんだ。奇跡によって出エジプトを果たしたイスラエル人たちは，神から授けられた約束の地を求めて，その後40年間荒野をさまよい歩くことになる。

ΕΡΗ
ΜΟϹ
ΦΑΡΑΩ
ΜΩΥ
ϹΗϹ
ΙϹΡΑΗΛΙ
ΤΑΙ
ΒΥΘΟϹ

こから放った偵察隊の報告によれば，カナンの地はまちがいなく乳と蜜の流れる約束の地であった。しかし慎重なモーセは，ここで38年間をすごして，人々の団結を固めた。

慎重なモーセたちは，死海の東，さらには北を経てカナンの地に進入した。しかしカナンの地への進入を目前にしてモーセは亡くなり，ヨルダン川を渡ってカナンの町エリコに突入する仕事は，ヨシュアにひきいられた新しい世代にゆだねられた。

出エジプトからエリコ突入直前までの，モーセにひきいられたイスラエル人たちの物語は「出エジプト記」「民数記」「申命記」に，ヨシュアにひきいられたイスラエル人たちの物語は「ヨシュア記」に物語られている。いずれにしてもそれは，紀元前1400年ごろから前1200年ごろへ至るイスラエル人の物語である。

世界最古の都市エリコ

エリコは死海の北西約11キロメートル，エルサレムの北東約24キロメートル，南流して死海へ注ぐヨルダン川の東約10キロメートルのところにある。「ヨシュア記」によれば，イスラエル人たちが角笛のラッパを吹いてときの声を上げたとたんに大地がゆれ動き，エリコの城壁がくずれ落ちた。こうしてカナンで最も手ごわい城がイスラエル人たちの手に落ちた。

このときにおきたのは疑いもなく地震である。現在でもこのあたりではかなり大きい地震がおきている。たとえば1927年にはマグニチュード6.2のエリコ地震とよばれる地震がおきている。

このあたりで地震が多いのは，死海を通ってほぼ南北に走っている死海断層とよばれる断層のせいである。このあたりの地図をみると，アデン湾から紅海へかけての割れ目が開いて，アラビア半島がアフリカ大陸から遠ざかりつつある。これは大陸移動の現代版である。紅海の北にシナイ半島があり，そのシナイ半島の東の縁に沿って走るアカバ湾を北へ延長したところに死海がある。ここでのべた大陸移動の現代版と関係して死海の断層ができ，その断層沿いの動きによって死海が開けつつある。ヨシュアたちを助けた地震は，死海沿いのこの断層運動と関係しているのである。

ヨシュアの軍隊のときの声にくずれたエリコの城壁の発掘は，その後多くの人によって試みられた。そのうちで最も有名なのは，イギリスの女性考古学者キャスリン・ケニオンにひきいられた調査隊が1952年から行った発掘である。彼らは炭素14法を用いた年代決定も行っている。その結果によれば，ここでの最上層，すなわち最も新しい年代の層は紀元前約1500年ごろのものであった。

こうなるとここでヨシュアのころの城壁がみつかる可能性はまったくなくなる。しかし彼らは，ここでそれよりもさらに貴重なものを発見した。なんとそれは，今から約9000年前にまでさかのぼる世界最古の都市であった。9000年前といえば，それはメソポタミアやエジプトに世界最古の文明が花開いた年代よりも5000年も前である。これよりも新しい，今から約7000年前の層からは，全体に肌色の着色をした美術品といってよいほどのきれいな頭蓋骨がいくつか発見されている。

カナンの地を攻略

エリコを手はじめとして，ヨシュアたちは各地で戦い，カナンの地を手に入れた。しかしヨシュアの死後，ペリシテ人たちがイスラエル人たちに圧力を加えはじめた。これに対抗するために，イスラエル人たちは部族の長老の中から代表者を選び，彼の指揮にしたがうことにした。これらの指導者を旧約聖書では士師とよ

んでいる。「士師記」では，デボラ（女性），サムソンおよびサムエルといった士師の活躍が物語られている。年代としては，紀元前1100年代のはじめから前1000年代の終わりへかけての約200年間である。

ここに出てきたペリシテ人はフィリステア人，すなわち現在のパレスチナ人である。旧約聖書では彼らを「カフトル（クレタ）からきた割礼なき者」とよんでいる。エジプトではペリシテ人を「海の民」とよび，その中の六つの主な部族の筆頭にプラサティ（ペリシテ）の名をあげている。最も初期のギリシアへ南下したアカイア人の一派であるともいわれている。紀元前8世紀の人とされるホメロスの，叙事詩『イーリアス』や『オデュッセイア』ではギリシア人全体をアカイア人とよび，彼らの活動の中心地をミケーネであるとしている。

ミケーネ人は，クレタ島を中心にして栄えたミノア文明あるいはエーゲ文明を，紀元前1400～前1300年ごろに滅ぼした人たちである。しかしせっかく占領したクレタ島が，紀元前1350年ごろのサントリニ島の大爆発によって壊滅したために，彼らはロードス島，キプロス島さらには小アジア（現在のトルコ）を経て，北方からカナンの地へ入り，ペリシテ人となったのではなかろうか。旧約聖書によれば，イスラエル人たちはペリシテ人の持つ鉄器によって苦しめられている。この鉄製品をつくる技術を，ペリシテ人たちは，これまたその正体がよくわかっていない北方の民族であるヒッタイトから得たのではなかろうか。

ダビデ王の統一王国

士師の最後の人であるサムエルの物語は，旧約聖書「サムエル記上・下」にしるされている。イスラエル人たちの求めに応じてサムエルは，サウルを王に選んだ。そのサウルが高慢になり，士師サムエルの仕事である祭りまでも自分で行うようになったため，サムエルは彼を捨てて竪琴の名人である少年ダビデを選んだ。

ダビデはサウルの宮廷での人気者となり，サウルの娘であるミカルと仲よくなった。やがて攻めてきたペリシテ人の先頭に立つ身の丈2メートルもある巨人ゴリアテを，ダビデは石投げ弓と石だけで倒した。ペリシテ人は敗れ去り，ダビデの人気は上がり，彼はミカルと結婚した。ダビデの人気に嫉妬したサウル王が妨害したけれども，ダビデはじっと耐えしのんだ。そこへまた攻めてきたペリシテ人と戦ったサウル王は，エズレルの野で死んだ。サウルの死後ただちにペリシテ人の囲みから脱出したダビデは，南イスラエルのヘブロンへのがれた。

もともとダビデは，イスラエルの12支族の中の南方系であるユダ族の出身である。ヘブロンへ着いたダビデは南方イスラエルの6支族を集めてユダ王国をつくり，その王となった。

これに対して北方系の6支族はサウルの子であるイシボセテをいただいてイスラエル王国をつくった。その都はヨルダン川の東にあるマハナイムであった。こうしてイスラエルは12支族全体をさす広い意味と，このときにできた北方の王国をさすせまい意味との二つに使われるようになった。その後約7年半つづいた南北朝の戦いでイシボセテが殺され，ダビデは南北王国の王となった。

世界最古の都市，エリコ。紀元前7000年の城塞の跡が発見されている。モーセの死後，ヨシュアはこのエリコの町を攻略し，カナン征服の第一歩を固めた。

ユダの荒野。小さな山々が無数に集まったような地形である。サウル王にねたまれ，何度となく殺されそうになったダビデは，ユダの荒野に身をかくした。彼は苦しい逃避の日々を送りながら神に祈り，信仰を強めていったという。この荘厳なユダの荒野こそ，聖書が生まれた舞台といえるだろう。

シナイ山でモーセが神から受けてきた契約の板は，その後「契約の箱」あるいは「律法の櫃」の中におさめられた。それをカナンの地へ運びこんだヨシュアたちは，シケムの近くのシロにつくったエホバの神殿の中におさめた。こうしてイスラエル人たちの聖所となったシロは，ダビデのころにはまだペリシテ人に奪われていた。

そこでダビデはヘブロンとシロの中間にあるエルサレムに目をつけ，その攻撃にとりかかった。旧約聖書によれば，ダビデの軍隊は地下水道をたどって城内へ突入し，それを占領した。ダビデはこのエルサレムを南北王国の首都とした。

これより先の，ダビデがまだサウル王ににくまれていたころに，彼は約1年半ペリシテ人の傭兵隊長として働いたことがある。この間に彼は鉄器の製法や使い方を身につけた。ダビデの南北王国統一を妨害するために，ペリシテ人たちが攻撃に出た。しかし彼らはもはやダビデの敵ではなかった。こうしてダビデの軍はユーフラテス川の岸辺まで進出し，メソポタミアからエジプトの国境へ至る地域がダビデのユダ王国のものとなった。

ダビデの子であるソロモンは，「契約の箱」のための神殿をエルサレムにつくった。その神殿は「ソロモンの神殿」とよばれた。

ソロモンの栄華

ダビデの在位は紀元前1000年ごろから前960年代へかけてであり，ソロモンのそれは前960年代から前920年代へおよぶ。彼らの物語は，旧約聖書「列王記上」におさめられている。それによれば，たとえばソロモンの神殿の長さ，幅および高さはそれぞれ60, 20および30キュビトであった。1キュビトは約50センチメートルである。神殿の主体は石材であったけれども，その屋根や壁はレバノンスギでつくられ，床はマツの板であった。神殿の奥の本殿に契約の箱がおさめられていた。この本殿は長さ，幅，高さともに20キュビトの部屋で，すべて純金でおおわれていた。これよりもさらに大きいソロモンの宮殿には，700人の妃と300人の側妻が住んでいた。彼は1400台の戦車と1万2000の騎兵をもっていた。

これらの物語のいくつかは，その後の発見によってその真実さが確かめられている。たとえばエルサレムの町の東南に「ヒゼキヤの泉（シロアムの泉）」および「処女マリアの泉（ギホンの泉）」とよばれる二つの泉がある。1910年にイギリス軍の1人の大尉が，この二つの泉が地下水道でつながっていることを発見した。処女マリアの泉のほうがより上にあり，その近くにはダビデの時代まで城のあったとされるオフェルの丘がある。今ではそこに「エブス人の城壁」とよばれる城壁の跡だけが残っている。いずれにしてもこれが，それをたどってダビデの兵士たちがエルサレムの城内へ突入した地下水道と関係したものであることはまちがいない。

1925年から39年へかけてシカゴ大学の調査隊は，メギドでソロモン王の馬屋の跡を発見した。それは全部で450頭のウマを入れるだけの広さをもっていた。床は石灰石を砕いて固めたたたきになっており，ウマをつなぐ石の柱や石の飼葉桶なども発見された。これと同様な馬屋の跡がエルサレム，ハゾルそのほかでもみつかっている。これから考えて，旧約聖書に出てくる1400台の戦車と1万2000の騎兵という数がそれほどオーバーなものでないことがわかる。

ソロモンはアカバ湾のエイラートに近

ソロモン王に謁見するシバの女王。ソロモンの名声を伝え聞いたシバの女王は，難問をたずさえて王を試みようとやってきた。しかし王の知恵と富とにおどろき，まったく気を奪われてしまったという。女王はソロモンをたたえ，金や宝石，そして多くの香料を献上した。ピエロ・デルラ・フランチェスカ作。

最も古い聖書の写本である「死海写本」。死海の西北岸にあるクムラン付近の洞穴の中から発見された。紀元前3世紀ごろのものである。

いエジオン・ゲベルに製銅所と造船所をつくった。今でも銅はイスラエルの貴重な資源である。この造船所でつくった船を使って，ソロモンはアフリカその他との通商をはじめた。こういう場合に，フェニキア（現在のレバノン）のツロ（現在のスール，ツールあるいはチュロス）の王ヒラムが，あらゆる技術的援助をソロモンにあたえた。たとえば彼はソロモンが望むだけのレバノンスギやマツや黄金を供給し，造船や航海の実際を受け持った。その代償としてフェニキアは，エイラートの港の使用権そのほかをもらい受けている。旧約聖書「列王記上」には，ヒラムの船隊が海外から持ち帰ったものとして，金，銀，象牙，サル，クジャクなどをあげており，また金およびビャクダンの産地としてオフルの名をあげている。このうちのクジャクはインドあるいはセイロンから持ち帰ったものとしか考えられない。またオフルは南アラビアあるいはソマリアとされているけれども，その真偽のほどはわからない。

「列王記上」にはまた有名なシバの女王の話が出てくる。オフルと同様に，このシバの女王の国がどこであったかは今もってわからない。しかしイエメンあるいは紅海をへだててそれと向かい合ったエチオピアが有力候補とされている。1931年につくられたエチオピアの憲法には，このときにソロモン王とシバの女王の間にできた子供のメネリクの直系の子孫がエチオピア皇帝であるとしるされている。

流浪のはじまり

『新約聖書』マタイ伝第6章の「山上の垂訓」の中で，キリストは「栄華を極めたソロモンでさえ，野の花ほど清らかに美しく着飾ったことはなかった」といっている。キリストの言葉どおり，ソロモンの栄華はむなしかった。栄華がむなしかった原因の一つは，ソロモンのぜいたくな暮らしと，これを支えるために彼が動員した人たちの彼に対するうらみであった。もう一つの原因は，ソロモンが勢力のある多くの国から次々に妃をむかえたことである。妃たちは自分の国の神や神官までも連れてきた。このためにイスラエル人たちの間の団結がくずれてきたのである。

ダビデ，ソロモンによる南北王国は，ソロモンの死後まもなく，ふたたび北と南の王国に分裂した。そして北のイスラエル王国は紀元前721年にアッシリアのサルゴン2世，南のユダ王国は紀元前586年にバビロニアのネブカドネザル2世によって滅ぼされている。ユダ王国滅亡と関係して，紀元前597年および紀元前586年にはじまる第1回および第2回のバビロン捕囚がなされている。ユダ王国の滅亡から約50年後の紀元前539年にペルシアがバビロニアを滅ぼしたために，ユダヤ人たちはエルサレムにもどり，祭司ネヘミアの指導の下に，焼き払われたエルサレムの城壁を建て直した。

旧約聖書はほぼこのあたりまでのイスラエル人の歴史を物語っている。なおこれよりあと，イスラエルはギリシア，マケドニア，ローマの支配を受け，紀元70年ごろからは，ローマに追われたイスラエル人たちの以後約2000年にわたる流浪がはじまった。

最古の聖書を発見

第二次世界大戦が終わってすぐの1947年に，エルサレム市内にあったアメリカ・オリエント研究所へ，2人の男が古ぼけた皮の巻物と，いくつかの巻物の断片を持ちこんだ。おどろいたことに，それは約2000年も前の写本であり，一つの巻物は旧約聖書「イザヤ書」全巻であった。これまでの最も古い旧約聖書の写本は紀元10世紀のものとされていたから，紀元前後のこの写本の発見の価値は大きい。これは16歳の羊飼いの少年モハマッドが，死海の西北岸のクムランの近くにある洞穴の中から偶然にみつけだしたものであり，そこにはこのほかにももっと多くの写本があることがわかった。

1948年のイスラエル独立戦争が終わって，パレスチナへもどってきたイギリスやフランスの学者たちは，クムランの近くの洞穴だけからでも数千もの写本の断片を発見した。その年代は紀元前3世紀から，ローマ人がこのあたりを占領した紀元68年にまでおよんでいた。その写本の大部分は旧約聖書であり，それをつくったのが修道院でのそれのような敬虔な共同生活をした人たちであることもわかった。彼らは，新約聖書の冒頭にあらわれ，キリストがくることを人々に告げた荒野の聖者バプテスマのヨハネを思いださせる。

ともかくもこの「死海写本」の発見によって，旧約聖書の写本の歴史が，これまでよりも1000年余りもさかのぼったことになる。

地球史が語る滅亡の
生物大絶滅はなぜお

古生代末
（約2億4700万年前）
古生代の海を代表する生物、フズリナ、四放サンゴ、三葉虫が絶滅。

中生代末
（約6500万年前）
陸上では恐竜が、海では魚竜やアンモナイトが絶滅。

シナリオ
きたか

地球の歴史の中で生物の大絶滅は何回かおきている。なかでも目立つのは生物危機とよばれる古生代末の絶滅事件と，恐竜を滅ぼした中生代末の事件である。そして現在，世界各地で進行している野生生物の危機は，恐竜絶滅に匹敵するといわれている。恐竜やアンモナイトはなぜ絶滅したのか。生物絶滅のなぞを解き明かし，地球の壮大な動きと生物とのかかわり，人類の行方について考えてみよう。

東京大学教養学部教授
濱田隆士

現代
（1600年〜　）
88種の哺乳類と109種の鳥類，
そのほか多くの昆虫や植物が絶滅。

現在，多くの生物が絶滅の危機にひんし，その保護が叫ばれている。ある種の絶滅によって生じた生態的な空白域は，ただちにほかの種によって補われる。すべての生物はやがて絶滅への道をたどる。地球史的にみれば，絶滅は日常的とさえいえる出来事である。しかし時に複数の分類群がほぼ同じ時期に絶滅していることがあり，「大量・一斉絶滅」などとよばれている。そこには誘因となる何らかの事件（イベント）があったと考えられる。

近年の絶滅イベントが，ヒト社会の自然収奪行為によることは明白であろう。それでは過去に何回かおきたと考えられる絶滅イベントは，どのようなものだったのだろうか。

恐竜絶滅の原因は何か。
隕石衝突説VS火山噴火説

「伝染病流行説」「アルカロイド中毒説」「超新星爆発説」……。さまざまな恐竜絶滅説は100をこすといわれる。それらを退けていきなり花形スターにのし上がったのが，アメリカのノーベル物理学賞受賞者ルイス・アルバレスと，その息子の地球化学者ワルター・アルバレスがとなえた「巨大隕石衝突説」である。事の真偽は今後の解析にまかせるとしても，これは今世紀の自然史学界をいろどるエキサイティングな話題であった。

隕石説の動かぬ証拠とされたのは，イリジウムの異常濃集を示す約6500万年前の「黒い地層」である。世界中に広く分布することや，海成・淡水成といった堆積環境のちがいをこえて普遍的に認められることから，元の物質は隕石系であると推定された。

隕石が海洋に衝突し，そのみずからの衝撃波によってこなごなに四散してエアロゾルなどを形成し，地表に舞い落ちて黒い地層を形成したというのである。

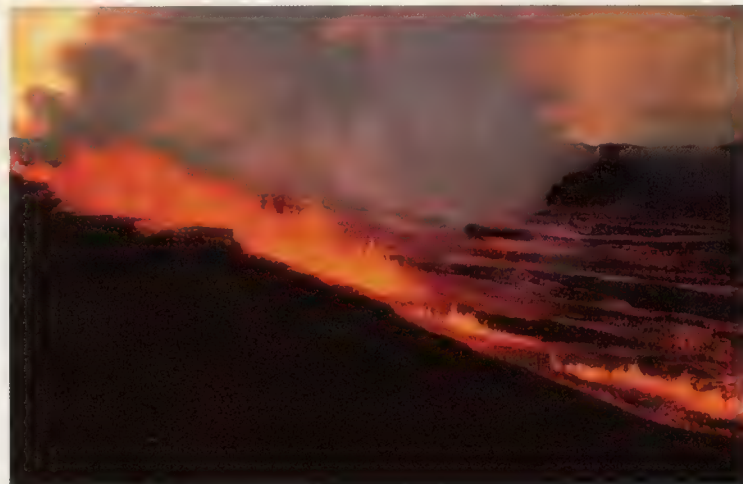
もし陸上に衝突したのであれば，いかに遠い昔の出来事であるとはいえ，その周辺に巨大な衝突クレーターがみつかるはずである。このため，ごく最近でも巨大隕石の落下地点をさがしあてたいと願っている多くの人がいるわけで，やたらと不明確な陥没地形がちまたでうわさされている。

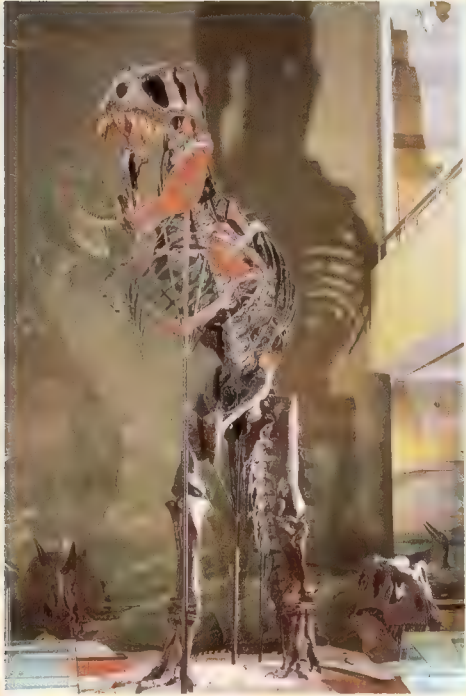
しかし現実には地殻物質が飛び散った場合，そのちりの量はばく大であるから，イリジウムの濃集度はいちじるしく低下する。これでは話が自己矛盾してしまう。たくさんの小隕石が一度に地球に降り注いできた場合でも似た現象がおきるかどうか，一度くわしくチェックする必要があろう。

隕石衝突説が出された当初からあったもう一つの考えは，イリジウムの起源を火山の噴火に求めようとするものである。隕石説は一つの重要な問題を抱えている。隕石が海中に落下したとすれば，波高8キロにおよぶ大津波が発生したはずである。しかしそれがもたらしたであろう巨礫まじりの堆積物がほとんど見いだされず，それどころか，浅い海の生態系として非常にデリケートなサンゴ礁がほとんどなんの危機にも見舞われていないのである。

この大きな矛盾を解決しようと，「火山説」がふたたび台頭してきた。インドのデカン高原を形成したような大規模な溶岩噴出が，火山起源のイリジウム濃集層をつくったという説である。大陸の割れ目から「プリューム」とよばれる巨大なマグマの上昇流があらわれ，大量の玄武岩をあふれさせたこの事件は，タイミングとしてもよく合っている。ちょうどゴンドワナ大陸からインド亜大陸が分裂していく時代で，割れ目をつくる地殻変動がおきたことがうまく説明できる。

隕石説にせよ火山説にせよ，大量のちりがエ

カーテン状の火を上げるハワイ島のマウナロア山。恐竜が絶滅した時代は，ゴンドワナ大陸からインド亜大陸が分裂した時代に一致し，このような割れ目噴火が各地でみられた。

生物の繁栄と絶滅

生物の進化を系統図にしてあらわすと，生物の盛衰のようすが明らかになる。中生代の陸上で大繁栄をとげた恐竜が絶滅すると，その生態的空白を埋めるように哺乳類が爆発的な繁栄をとげた。恐竜の大絶滅を引きおこした事件は，哺乳類や鳥類や魚類，また同じ爬虫類のワニやヘビにはなんの影響もあたえなかった。このことから，恐竜絶滅の原因を巨大隕石の衝突や火山の大噴火といった環境の激変だけに求めることができないとわかる。

ティラノサウルスの骨格（カーネギー自然史博物館）

哺乳類
長鼻類
偶蹄類・奇蹄類
クジラ類
肉歯類
齧歯類
霊長類
汎獣類
食虫類
翼手類
三錐歯類
有袋類
単孔
多丘歯類
鳥類
歯鳥類
新鳥類
古鳥類
竜盤類
恐竜類
盤竜類
鳥盤類
ワニ類
テコドント類
ヘビ類
翼竜類
爬虫類
トカゲ類
ムカシトカゲ類
杯竜類
カメ類
鰭竜類
板皮類
魚竜類
迷歯類
カエル類
両生類
イクチオステガ類
イモリ類
肺魚類
オステオレピス類
真骨類
全骨類
魚類
棘魚類
チョウザメ類
翼甲類
サメ・エイ類
頭甲類
ギンザメ類

5億7500万年前 カンブリア紀 5億900万 オルドビス紀 4億4600万 シルル紀 4億1600万 デボン紀 3億6700万 石炭紀 2億8900万 二畳紀 2億4700万 三畳紀 2億1200万 ジュラ紀 1億4300万 白亜紀 6500万 暁新世 5500万 始新世 3800万 漸新世 2400万 中新世 510万 鮮新世 170万 更新世 1万 完新世

第三紀 第四紀

古生代 中生代 新生代

生物の科の数の変遷

生物の科の数の変化をみることで，過去に何回か大絶滅のおきたことがわかる。なかでも目立つのは古生代末の絶滅で，海生生物の科の半数が姿を消した。下部に帯状にあらわしてあるのは地磁気で，不思議なことに地磁気の逆転がひんぱんにおきる時期に生物の絶滅がおきている。地磁気と生物の間にどのような因果関係があるのか，現在最も注目を集めているところである。

アロゾルとなって大気中に放出され，それが日照をいちじるしく低下させ，環境の悪化をもたらした，というものである。

しかし火山説にとって注意しなければならないのは，デカン高原をつくった火山岩は玄武岩であり，割れ目噴出型の活動をしたはずだということである。つまり「火のカーテン」状の噴泉を上げることはあっても，黒煙もうもうたる爆発的噴火ではなかったのである。はたして日照にどの程度の影響をあたえることができたのか，はなはだ疑わしい。

気候学の立場から考えると，気候の変動に大きな影響をあたえたのはプレート・テクトニクスである。現在の日常では味わえない大きな要素として，海と陸の分布パターンのいちじるしい変化がかぎになりそうである。大規模な大陸移動がおきて陸地面積がかわると，気候も大きく変化する。気候の変化は海水の体積を変化させ，さらに氷床(ひょうしょう)をとかしたり成長させたりして海面の高さを変化させる。これが植生ひいては全動物界にも大きな影響をあたえることはまちがいない。

隕石衝突説が出された当初から，この説に反発していた古生物学者，層位学者の地道な調査によって，実は恐竜絶滅のタイミングはかなりの幅をもっていることがわかった。おおかたの種が滅びたあと，すなわちイリジウム異常濃集層より上位の地層から5属11種にわたる恐竜が発見されたのである。つまり，恐竜が完全に絶滅するまでに，50万年程度の幅があったと考えるのが妥当であろう。

大量・一斉絶滅というよび方はポピュラーではあるが，かなり大ざっぱなセンスをもっている。絶滅は一線をなして終局をむかえるようなパターンを示すものではない。カタストロフィックなニュアンスではないのである。

環境にあまんじた生活が恐竜を滅ぼした!?

長い地球生命史を通じて，生物の絶滅という現象は，現在存続中のものを除くすべての生物についておきてきたことである。種のレベルにはじまり，ずっと大きな分類単位までおしなべてみると，絶滅はむしろ日常的とすらいえるくらい，進化上の普通のプロセスである。「絶滅事件」とか「大絶滅期」とよばれるものは，したがって非常に目立つ事件のみをとくに取り上げていっていることになる。たとえばいくつもの分類群が時期的にほぼそろっていっせいに消滅しているとか，大きな分類群がそれで系統を絶ってしまうとかいう場合である。

具体的には古生代末（約2億4700万年前）の生物危機といわれる大絶滅期が，それら二つのタイプをかねそなえた絶滅事件である。この古生代末を境に，フズリナ類，四放サンゴ類，三葉虫類が，全化石記録から姿を消してしまう。逆にそのような絶滅生物の存在が，古生代と中生代を区分する理由にされているといってもよい。地史区分は大なり小なり，こうした絶滅の目立つ生物危機をもたらした事件によって定められているのである。

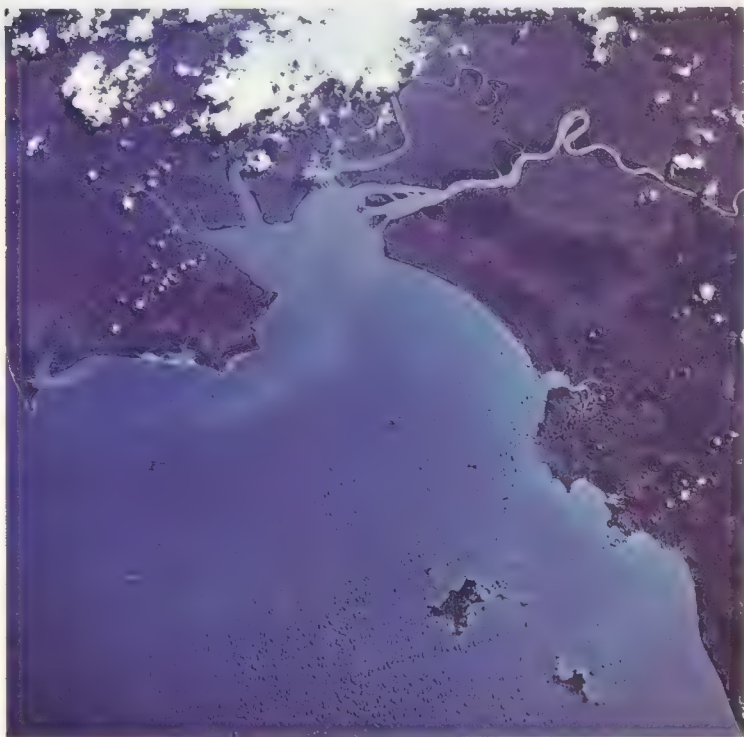
古生代末といえば，ゴンドワナ大陸の上に巨大な氷冠が出現し，石炭紀から二畳紀にかけての大氷河期をなしていた，その終末の時期にあたる。気候は急激に温暖化し，氷冠から大量の融氷水が周辺の海に流れこんだ。融氷水は冷たく密度は大きいが，海水よりはいくらか軽いので，海水となかなかまじり合わず，まるでふたをしたように海水面の上方を占めてしまう。

こうして海面は数百メートルぐらい高くなり，塩分濃度が低く水温の低い浅海が出現した。二つの水塊はまるで前線をつくるように水どうしでもなかなかまじり合わず，しばらくは異常な海が存続した。

この間に，それまで全盛を誇っていたフズリナ類，四放サンゴ類，三葉虫類などの暖かく浅い海に生息する生物は危機にさらされたことになる。とりわけ，固着性あるいは底生の生態をもち，外海や，やや深くの海水へ逃避できなかった生物群はまもなく絶滅する。上記3分類群こそまさにその代表格の生物だったのである。

古生代末の生物危機についての説明は，環境変化と，ある程度特殊化が進んで限られた条件でしか生息できなくなった生物群との関係として理解できる。これにくらべると，中生代末の恐竜・アンモナイトの絶滅事件は，隕石衝突説を含めた従来の諸説では十分に納得できない。やはりそれらの生態上の特性と，それに最も強いインパクトをあたえた変化を探りだし，その相互作用システムとして絶滅事件をみる必要があろう。

陸上生態系のトップの座を占めていた恐竜について考えてみよう。化石の証拠から明らかなように，彼らは中生代三畳紀（約2億4700万年前）以降，約1億5000万年の長きにわたって栄え，大いに分化してきたグループである。中生代を通じて，地球の気候はまれにみる安定期であったため，植物はよく茂り，それをえさとする植物食恐竜の発展が約束されたのである。恐竜類は現代の爬虫類と似て，成長抑制ホルモンを欠くので，よい環境下では生存の間ずっと成長をつづけることができた。巨大化の主な原因である。

オーストラリアのグレートバリアリーフに面した海岸。河口から流れる淡水が塩分濃度の低い汽水となって，すぐには海水とまじり合わずに境界線をつくっているようすがわかる。古生代末におきた急激な温暖化は大陸をおおっていた氷冠をとかし，冷たい汽水の浅海が出現した。

ザトウクジラの親子。人類が反省をこめて作製した『レッド・データ・ブック』の中で，V(危険な状態にあるもの)にランクされている。このクジラの運命は人類の手中にあるといっても過言ではない。

快適な環境がつづけば，生物一般にみられるさまざまな環境の変化に対応するしくみは不要となるから，退化して役立たずとなる。これは完全適応にみえるけれども，実は非常にもろい生態である。むしろほかの生物にはなんの影響もあたえないちょっとした環境変化にも対応しきれず，滅んでしまう危険がある。これにはいわば内因的要素が大きい。安定した環境にあまんじていた生物は，こうしてみずからの適応能力を減らし，ついにささいな環境変化に対応できなくなり絶滅に向かうのである。

大量の植物を摂取していた巨体の植物食恐竜たちは，食べ物を消化したり，歩いたり泳いだりするときに体内で化学熱を生じ，そのエネルギーのはけ口を求めて体を冷やす努力が重要であったろう。体温が上昇しっぱなしになると，ホルモンに異常をきたすので，恐竜にとっては放熱システム，つまり変温動物として，体温をいかに下げるかについて気を使わなければならない。

体の周辺の水をいかに上手に使うかが重要なポイントである。マグロやウミイグアナなどのように変温動物であっても比較的体温が高いものは，低い温度にはなんとか対応できるが，高い温度への対応がむずかしい。

白亜紀末に，これまでの安定期から，かなり寒暖差の大きくなった時代をむかえることになった。適応能力が減退していた恐竜たちにとって危機が訪れる。このとき，まだその程度では死なない生物群が相当数いたことも確かである。

こうして生物分類群のちがいがいちじるしく増幅され，滅びるものと生き残るものとに分かれていく。

余談ではあるが，イリジウムの異常濃集自体が，生物の絶滅にどれほど影響をあたえているかはよくわからない。しかし現実問題として，白亜紀末以外にもよく似た事件が数回おきたことが明らかとなっており，それは生命にはなんら影響をあたえていない。イリジウム濃集を隕石衝突の結果とするならば，隕石の衝突自体，本質的には絶滅とは無縁だという見方もできることになる。

みずからの文明に滅ぼされる？ 地球史が警告する人類の絶滅

人類は森林生活を送っていた間に，手(前肢(ぜんし))を使って木に登る姿勢から，頭を上にして足(後肢)をつっぱる体勢になじんできた。二足歩行へのアプローチである。草原で生活するようになったころ，すなわちアウストラロピテクス類のころ，彼らはすでに二足歩行を行って，重くなった頭を背骨でうまく支えるしくみを完成させていた。

手を自由にしたヒトは，道具をにぎり，火をコントロールして，食物を加工するようになった。定住生活は農耕につながり，住居の地域性は，集落の特性，つまり産物の特性となって，たがいに物を交換する習性も生まれた。

こうして「職業化」や「経済」という文明社会の条件がしだいに満たされるようになってきた。ヒト以外の生物は，みずからえさをとる手段をもたないかぎり飢え死にするのに，自分では手の届かぬ品物を入手できるようになった段階で，ヒトは地球型生命の枠をこえてしまったといってさしつかえない。

裕福になったヒトは，ついに食べるためだけでなく，楽しみのために動植物をとるようになる。動物でいえば，これこそが英語でいうゲーム（game：狩猟動物）である。典型的なのは，北アメリカ大陸の西部開拓時代，野生のバッファローが格好のターゲットとされ，あっというまに絶滅一歩手前の状況にまで追いこまれた事件である。

大型動物は目立つために「保護」されるチャンスもあるが，さまざまな小生物についてはヒトのわがままがそのまま影響をおよぼすことになる。とくに移動できない植物には，絶滅への道をたどったものが多い。有用植物でなければこれを雑草とか雑木とよぶ発想が，気づかないうちに絶滅を加速してきた。

ヒト属の文明生活は，食物網(もう)のかぎりない拡大をはかり，地球の自然システムにさからってまでして「わが身」の存続のみに夢中になってきた。爆発的に増加する人口は，この傾向にさらに拍車(はくしゃ)をかけ，数多くの生物種を地球から奪い去ってしまった。経済優先，ひいては生活向上・安定化のために，ヒトはみさかいなく自然を収奪している。

人類出現以前の生物の絶滅とはちがった，ヒトのわがままゆえの，新しいタイプの生物絶滅が日常的におきている奇妙な社会ができてしまったのである。しかしこのような“異常”はそう長つづきはしないだろう。人類はこの異常に気づいて反省をこめ，絶滅の危機がせまっている生物のリスト『レッド・データ・ブック』の作製をはじめた。

私たちは地球環境問題で主として取り上げられている諸問題を，もっと生態学的なレベルでながめてみる必要があろう。身近な路傍(ろぼう)の生命にも，生きている理由があることをさとらなければならない。自然界にはむだというものがなく，すべてが何らかの役割分担をもつ，一つのシステム構成員であることを忘れてはならない。ここに強い反省をこめて，新しい地球倫理の確立が要請されているところである。

進化という不可逆の流れにさからって生活レベルを元へもどすことができない以上，せめてあらゆる生産と消費のペースを落とす方策を立てるべきである。生産一本やりできた方針をかえ，つくったものは後始末をする，後始末工学――アフターケア工学の発想と実現に努力しなければならない。もしそうでなければ，ヒトはみずからまいた文明という種(たね)の異常増殖におかされ，絶滅への道をたどることになろう。そうしたことへの警告は，地球史が何より雄弁に語ってくれている。

NEWTON SPECIAL

夢と眠りの秘密

レム睡眠が夢みる脳のなぞを解き明かす

夢が心の言葉を伝えるものとして研究されるようになったのは，1900年にフロイトが『夢判断』をあらわしてからである。さらに1953年のレム睡眠の発見によって，生理学や脳科学の分野で夢の研究が行われ，記憶との関連が明らかになった。そして現在は，科学的な手法で夢と心の関係を解明しようという試みもなされている。夢と眠りのなぞはどこまで解明されたのだろうか。

鳥居鎮夫
東邦大学名誉教授

井上昌次郎
東京医科歯科大学医用機材研究所教授

大村政男
日本大学文理学部教授

フランスの画家ジャン・アングルの『オシアンの夢』。古代ケルトの叙情(じょじょう)詩をテーマに，詩人オシアンがたて琴にもたれて眠り，恋人や勇者の夢をみているシーンがえがかれている。この作品はナポレオンの寝室の天井画として注文された。ナポレオンは1日に4時間しか眠らなかったと伝えられるが，この寝室でどのような夢をみたのだろうか。

夢は科学の対象となった。

最近，夢占いや夢分析がはやっている。物質的な豊かさが人間の心に一種の空虚さをかもしだした結果であろうか。心の世界に関する人間の欲求は，最近とみにいちじるしくなっているようだ。

心のはたらきについての人類最初の興味はおそらく夢であったと思われる。ネアンデルタール人もクロマニヨン人も，洞くつの中で夢を楽しんだり，悪夢にうなされたりしていたにちがいない。

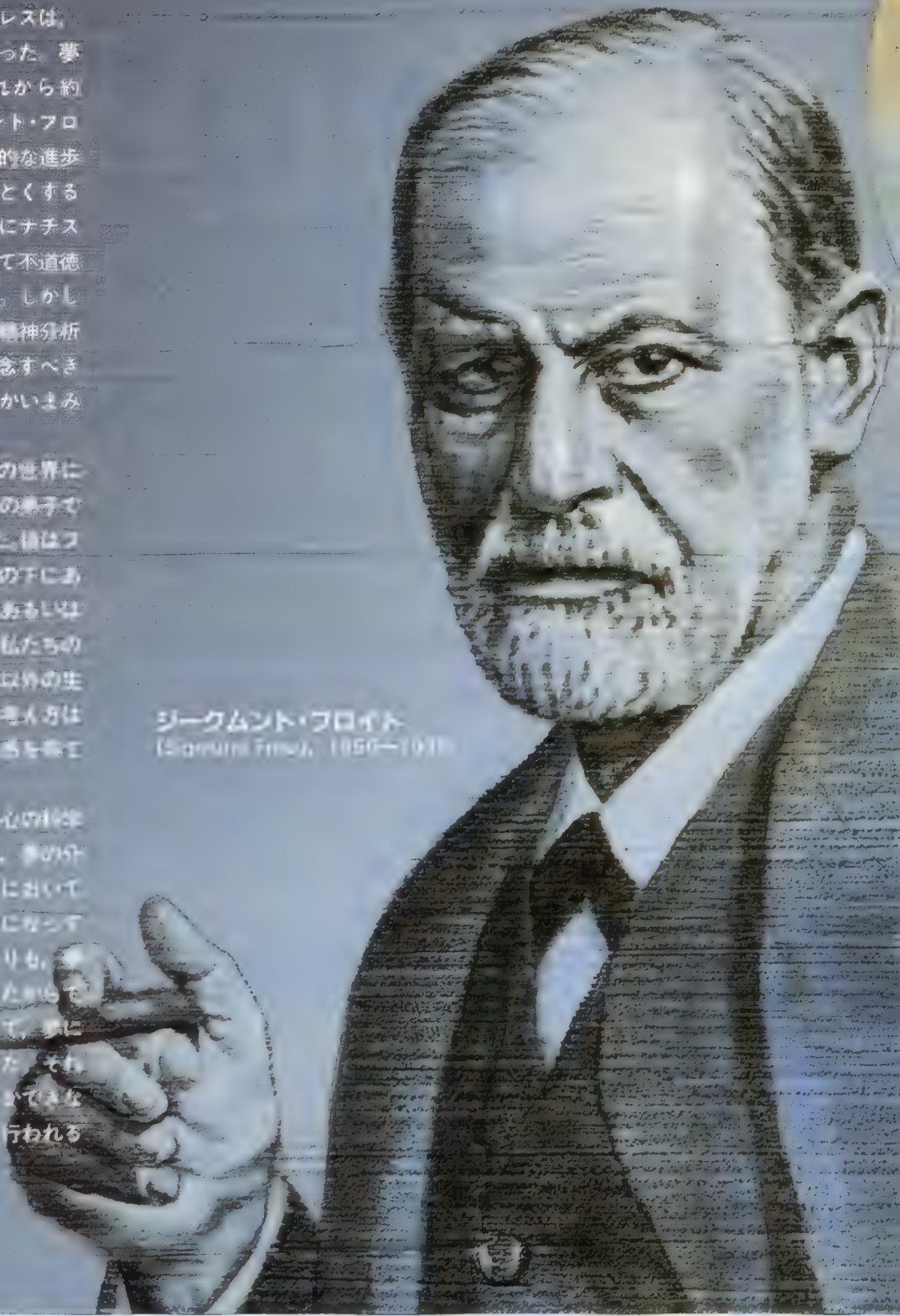
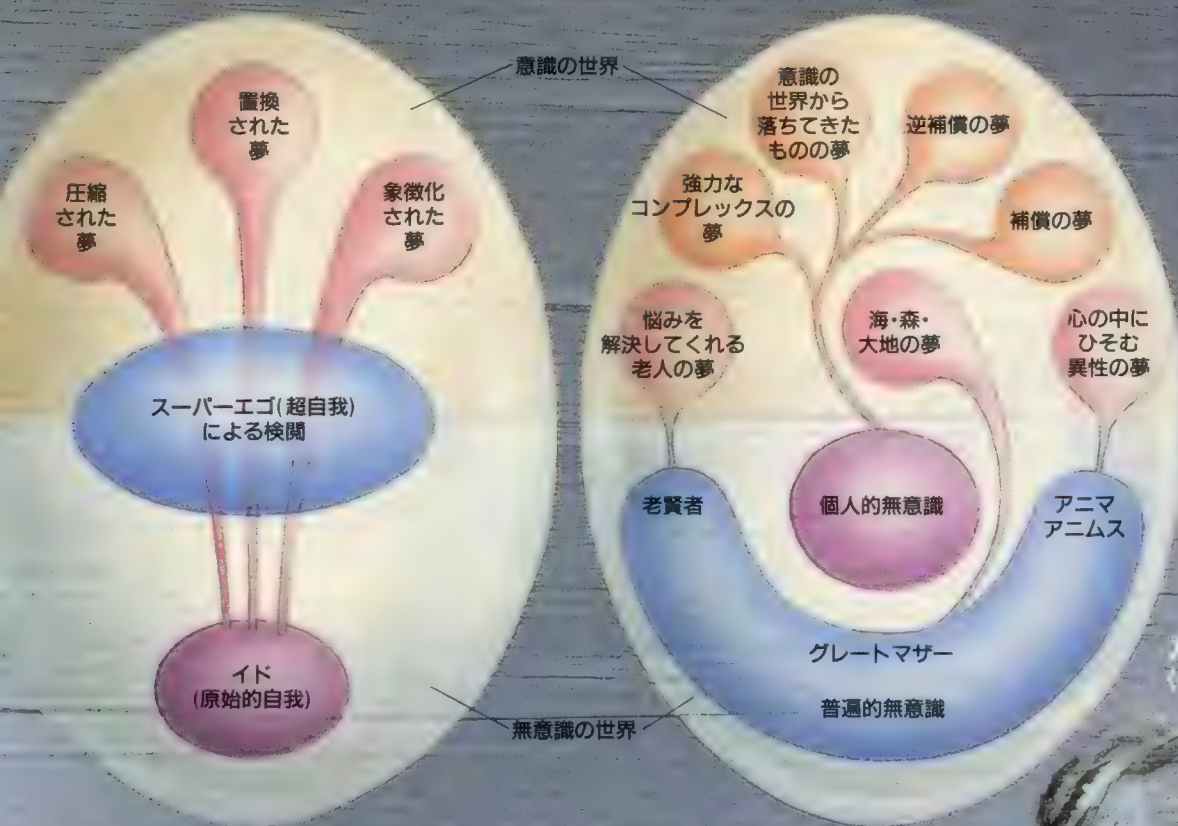
古代ギリシアの哲学者アリストテレスは，「夢は睡眠中の心の活動である」といった。夢についての心理学的研究は，それから約2000年後に出版されたジークムント・フロイトの名著『夢判断』によって画期的な進歩をとげた。この本は神と人間性を冒とくするものとして教会から非難され，のちにナチス(国民社会主義ドイツ労働党)によって不道徳な出版物として焼却されてしまった。しかしこの本が刊行された1900年こそ，「精神分析学」という新しい学問が誕生した記念すべき年であり，人間が自分の心の奥底をかいまみた最初の年であった。

フロイトは「夢はその人の無意識の世界に通じる道である」といった。フロイトの弟子であったカール・ユングも夢を重視した。彼はフロイトのいう無意識(個人的無意識)の下にある人間共通の無意識(普遍的無意識，あるいは集合的無意識)を発見したのである。私たちの心の中に太古の人々，あるいは人類以外の生物の心が流れているというユングの考え方は非常にロマンチックで，現代人の共感を得ているようである。

フロイトとユングの研究によって心の科学は新しい方向づけをもつことになり，夢の分析も新しい発展をとげた。心理療法においては，夢のもつ価値が認識されるようになってきた。患者の現実的な悩みの訴えよりも，夢の分析からの証拠のほうが大きかったからである。さらにレム睡眠の発見によって，夢についての生理学的研究が可能になった。それまで精神分析学からのアプローチしかできなかった夢研究が，生理学の分野でも行われるようになったのである。

フロイトの夢に対する考え方

[illegible]

ジークムント・フロイト
(Sigmund Freud, 1856—1939)

フロイト，ユングからレム睡眠の研究へ

ユングの夢に対する考え方

個人的無意識からは個人の願望や思いだしたくない経験が夢としてあらわれ、普遍的無意識からは太古の生物や人々に共通の心が夢としてあらわれる。

カール・ユング
(Carl G. Jung, 1875〜1961)

圧縮された夢――夢にあらわれたAさんが、Bさんにも似ており、さらにCさんでもあるような場合。いくつもの映像を合体させてスーパーエゴの検閲をごまかす。
置換された夢――上司の恩顧をこうむって出世したいという欲望(A)が、父親の[illegible]て出世していく夢(B)となってあらわれる。Aではスーパーエゴの検閲をパスすることができないので、Bという形になって検閲をまぬかれる。
象徴化された夢――やりは男性性器、船は女性性器というように、反社会的なものを象徴的なほかのものに置きかえて検閲をごまかし、夢にあらわれる。

心の中にひそむ異性の夢――男性の心の中に存在する女性をアニマ、女性の心の中に存在する男性をアニムスという。
海・森・大地の夢――グレートマザーの象徴としてあらわれる。
悩みを解決してくれる老人の夢――老賢者の象徴としてあらわれる。
補償の夢――その人の考え方のブランクを埋める。またよいアイデアをあたえてくれる。
逆補償の夢――その人の考え方に反省をあたえる暗示を含む。
意識の世界から落ちてきたものの夢――意識に保留できないほど強い経験があらわれる。
強力なコンプレックスの夢――幼少時代からの劣等感があらわれる。

フロイトもユングも、現代の精神科医たちも、夢を分析するときにはその個人の話をじっくり聞いて、その人の意識の奥深くにもぐり、何かをつかもうとしている。それは「夢判断」が単純な公式で答えの出るようなものではないことを示唆している。夢の分析がはやっているが、その分析は慎重でなければならない。

レム睡眠が夢の秘密をとく。
急速眼球運動は夢のシーンを追っていた。

眠っている人の目がきょろきょろ動くのをみて，びっくりした経験がないだろうか。これがレム睡眠である。1953年にアメリカ，シカゴ大学生理学教室のナサニエル・クライトマン教授らは，このレム睡眠中に80%の人が夢をみていることを明らかにした。

睡眠には2種類あることがわかっている。眠りが浅い「レム睡眠」と，眠りが深い「ノンレム睡眠」である。レム睡眠とノンレム睡眠は一晩の間に4〜5回くりかえす。あまり夢をみないという人も，実は一晩に4〜5回訪れるレム睡眠の間に夢をみている。起きたときにそれを覚えていないだけらしい。

では一晩の間に，レム睡眠とノンレム睡眠がくりかえし訪れるのはなぜだろうか。実は脳には約90分の活動周期がある。目覚めているときは，周囲からたえまなく入ってくる情報を脳が処理することにいそがしいため，活動周期は目立たない。しかし周囲からの刺激が遮断（しゃだん）される睡眠では，その活動周期がレム睡眠とノンレム睡眠としてあらわれてくる。したがって夢見は，脳の活動周期がもたらす生理的な現象ともいえ，とくにレム睡眠の研究が夢の秘密をとくかぎとなっている。

レム睡眠とノンレム睡眠

脳の時計が夢見を決定している。

私たちの睡眠や夢見は脳にある2種類の時計に支配されている。約24時間の周期で訪れる睡眠と覚醒を脳幹の「視床下部」にある時計が支配している。約90分の周期で訪れるレム睡眠とノンレム睡眠は脳幹の「橋」とよばれる部分にある時計が支配している。

この90分のリズムは，アミン作動性ニューロンとコリン作動性ニューロンの相互作用によってつくられる。アミン作動性ニューロンは覚醒時にはたらき，睡眠に入ると徐々にその活動が低下してレム睡眠でまったく活動を停止する。コリン作動性ニューロンはアミン作動性ニューロンによって抑制されており，アミン作動性ニューロンの活動が停止したレム睡眠のときにはたらく。

ノンレム睡眠のとき眼球は上転して，まぶたを開けてみると白目をむいている。ノンレム睡眠でも夢をみることがあるが，レム睡眠のときほどはっきりした夢ではない。ノンレム睡眠では[illegible]はゆっくりとなり，寝返りを打ったり，いびきをかいたりするほか，呼吸がとまってしまうこともある。これは眠りが深いためで，普通の人でも一晩に2～3回はおきているらしい。また寝る子は育つという言葉のとおり，ノンレム睡眠時に成長ホルモンの分泌がおきることもわかっている。

覚醒

レム睡眠　ノンレム睡眠　レム睡眠　ノンレム睡眠　ノンレム睡眠

3:00　4:00　5:00　6:00　7:00

夢は右脳でみている。ひらめき

中間子論でノーベル物理学賞を受賞した湯川秀樹博士は，うとうとしたときに夢の中で面白い発想が浮かぶことから，就寝時にいつもまくら元にペンとノートを用意していた。ドイツの化学者フリードリッヒ・ケクレは，夢のヒントからベンゼン環の構造を思いついた。このように夢でひらめきを得たというエピソードは多い。

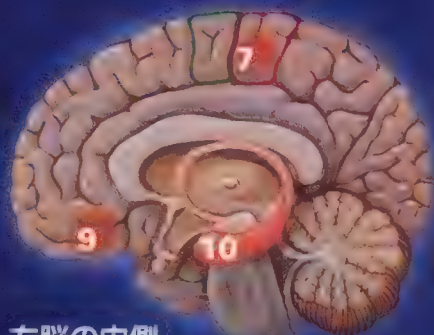
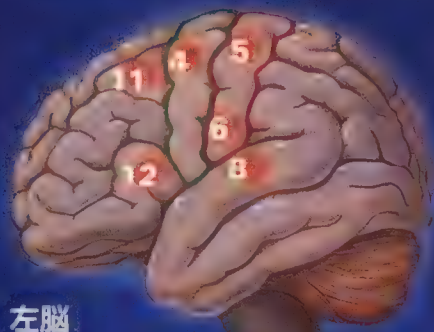
ヒトの脳の機能は，左右でややことなっている。一般に左脳は言語や理論の理解にすぐれ，右脳は絵画や空間といった視覚情報の理解にすぐれている。私たちが夢の映像を「みる」のは，右脳のはたらきによるところが大きい。覚醒時の左脳を使った理論的な思考ではなく，夢をみているときの右脳の視覚的なイメージが「ひらめき」となるのであろう。

国立精神・神経センターの大熊輝雄博士が大学生の夢を調べたところ，見る夢が96%，聞く夢が25%，動く夢が19%，味わう夢が2%，触る夢が1%だった。見る夢が圧倒的に多い。それはなぜだろうか。夢は脳幹の橋から出される「棘波」とよばれる信号が大脳を刺激することでつくられる。信号は大脳全体に伝わるが，ふだんよく使っている脳細胞が反応しやすい。身のまわりの出来事を知るのに，私たちは主に視覚を利用しているので，見る夢を多く体験するのである。

夢をみる脳

脳幹の橋で発生する棘波が大脳皮質を刺激することで夢が発生する。どのような夢をみるかは，私たちがふだんよく使っている大脳のはたらきを反映する。「春の海」などで知られる箏の奏者，宮城道雄は，子供のときに失明した。網膜に姿はないが，夢の中で複雑なオーケストラ曲を聴いたと随筆にしるしている。

は夢の視覚イメージから生まれる?

タルティーニの夢に悪魔があらわれ、すばらしいバイオリン曲をかなでた。「タルティーニの夢」より。

右脳の内側

左脳

1 視覚イメージの夢

右脳の「頭頂連合野」で発生する。ここは視覚情報を受け入れて，どこに何があるかを理解する場所である。鮮明な視覚イメージが浮かぶが，内容は断片的で脈絡のないことが多い。ケクレは原子がつながってくるくるまわる夢をヒントに，ベンゼン環の構造を解明した。

2 音楽の夢

音楽の理解をつかさどる右脳の「聴覚連合野」で発生する。夢の中の悪魔がかなでたすばらしい音楽を譜面に写したというのが，ジュセッペ・タルティーニのバイオリン曲『悪魔のトリル』である。

3 過去の記憶の夢

視覚的な記憶をつかさどる右脳の「側頭連合野」で発生する。この部位を電気的に刺激すると，過去の記憶が走馬灯のようにかけめぐることがわかっている。

4 動く夢

「運動野」で発生する。ここは体の筋肉を動かす指令を出す場所である。

5 皮膚感覚の夢/6 味わう夢/7 性的な夢

「体性感覚野」で発生する。ここは体の皮膚や関節が受ける触覚，圧覚などに[illegible]

8 話を聞く夢

音や話し言葉の理解をつかさどる左脳の「聴覚連合野」で発生する。神のお告げが聞こえる?

9 においをかぐ夢

臭覚をつかさどる「臭覚野」で発生する。大熊博士の大学生を対象とした調査ではかぐ夢は0%だったが，香水の調香師はかぐ夢をよく体験すると報告している。

10 感情のともなう夢

感情や本能行動をつかさどる「海馬」で発生する。うきうきした気分になったり，悲しい気分になったりする夢はここで生まれる?

11 眼球運動

視野の特定の場所へ目を向けさせるはたらきをするのが「前頭眼野」である。レム睡眠の眼球運動は，脳内でくり広げられる夢のシーンを追っているが，網膜に映像が映っているわけではない。脳のはたらきに連動してしぜんに動いてしまうのである。

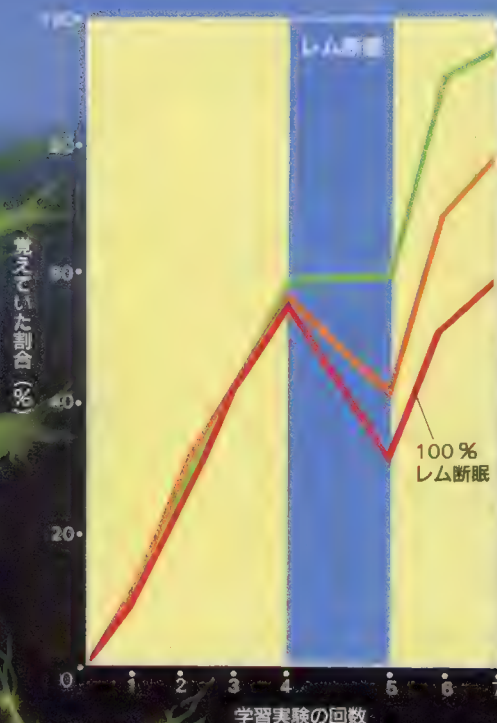
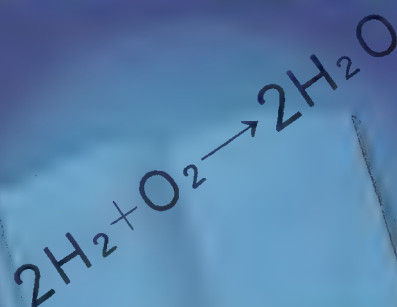
12 寝言

言語の発音をつかさどる左脳の「ブローカの運動性言語野」が反応すると，ムニャムニャと寝言をいう。

レム睡眠は知能を発達させ

睡眠は幼児期の知能の発達に重要な役割を果たしている。生理学者や心理学者は，レム睡眠中に記憶が固定されると考えるようになっている。幼児期は基礎的な学習にとって重要な時期なので，この仮説は受け入れやすい。睡眠時間と，その中でレム睡眠の占める割合が年齢とともに少なくなっていくことも，この仮説を裏づけている。

レム睡眠と記憶の関係を調べるには，二つの方法がある。レム睡眠を断つこと（レム断眠）が学習にどう影響するかをみることと，学習がその後のレム睡眠にどう影響するかをみることである。動物では，レム断眠によって記憶の固定がさまたげられ，学習のあとにレム睡眠が増すことが確かめられている。人間でも学習がレム睡眠を増加させることが報告されている。

レム睡眠は記憶だけでなく，問題解決のような認知の面でも重要であるという学者もいる。認知に必要なプロセスが進行していると思われるレム睡眠中の眼球運動の測定は，知能水準の指標になる。精神遅滞児は正常児とくらべて睡眠時間中にレム睡眠率（レム睡眠の占める割合）が少なく，眼球運動が遅い。また英才児は正常児よりもレム睡眠率が高く，眼球運動も速い。

レム断眠は記憶固定を阻害する。
レム睡眠だけを選択的に取り除くには「プール法」がよく使われる。水の中の小さな台にラットを乗せておく。ラットはそこで眠らなければならない。ノンレム睡眠の間は筋肉が緊張しているので台の上にいられるが，レム睡眠になると筋肉の緊張がなくなるため水の中に落ちてしまい，眠りがさまたげられる。このような方法でレム睡眠だけを遮断（しゃだん）して学習効果を調べる。するとレム睡眠を奪（うば）われれば奪われるほど，記憶固定が阻害されることがわかった。

記憶の固定は レム睡眠時に行われる。

記憶にはある一定の期間しか覚えていない短期記憶と、一生残るような長期記憶の大きく分けて2種類がある。脳内のシナプス（神経細胞のつぎ目）を通って信号が伝えられるときに、神経伝達物質とよばれるタンパク質が放出される。短期記憶では伝達物質の量が変化し、信号が通りやすくなるという形で一時的に情報がたくわえられるとされている。一方、長期記憶ではシナプス自体に形態的変化がおきて、情報が持続的にたくわえられるとされている。これには新しいシナプスの形成や既存のシナプスの変化などがある。短期記憶が長期記憶に転化することを「記憶の固定化」といい、レム睡眠中にこれがおきると考えられるようになってきた。

恐竜は夢をみたか？ 爬虫類

イヌやネコは眠りながらうなったり足をピクピクさせたりして，夢を体験しているようにみえる。人間以外の生物も夢をみるのだろうか？　ある実験では，ネコを使って動物の夢見を調べている。レム睡眠中は，体がかってに動きださないようブレーキをかけるシステムがはたらいている。ところがこのシステムを破壊したネコはレム睡眠中に起き上がり，まるでネズミをつかまえようとするような行動をした。ネコもレム睡眠中に夢をみていたのかもしれない。

レム睡眠やノンレム睡眠は魚類や両生類にはなく，爬虫類からそれに似た状態の睡眠があらわれる。そして鳥類や哺乳類になると，明確なレム睡眠やノンレム睡眠が一定のサイクルでくりかえされるようになる。レム睡眠があれば夢をみることができるのだとすると，鳥類と哺乳類のほとんどが夢をみていると考えることもできる。

下等な生物になるほど睡眠中に脳の活動をおさえる機能が低い。そのため爬虫類以下の生物では，睡眠中であっても脳の活動レベルはかなり高い。脳が活発にはたらき，それが知覚レベルの情報処理ができるほどであるとすれば，夢をみることができるとしてもおかしくはない。

爬虫類の仲間である恐竜にも同じことがいえる。化石では脳の機能まではわからないが，睡眠中の脳の活動レベルは比較的高かっただろう。また最近の学説のように，脳も大きく恒温性をもつまでに進化した恐竜がいたならば，レム睡眠をもつものもいただろう。太古の森の中で安らかに眠りながら，恐竜も夢をみていたのかもしれない。

睡眠の進化

単細胞の微生物から人間まで，すべての生物は一定のサイクルで休息をとっている。生物の進化とともに休息の方法も進化をとげ，より高度な機能をもつようになった。

微生物では一定の活動と休息をくりかえすサイクルだけしかない。しかし昆虫では，睡眠中の意識レベルに高低差がみられる。魚類や両生類になると，睡眠中に体がかたくなったりぐったりするなど睡眠の内容に変化があらわれる。しかしこの段階ではまだレム睡眠やノンレム睡眠はない。爬虫類になってはじめて，そ

動物の不思議な眠り

睡眠は生物の種類によって多種多様な特徴をみせる。生物がそれぞれの環境に最もよく適応するように，睡眠を柔軟に変化させた結果である。睡眠時間も哺乳類で1日に2～20時間もの幅があり，睡眠のリズムなどにも大きなちがいがある。眠る場所や眠る姿勢などの外見的な特徴はまさに千差万別で，なかには非常に不思議な生態をもつものもいる。種類によってことなる遺伝的な要因のほか，季節や栄養状態などの要因も睡眠を左右する。そのため同じ種類の個体でも睡眠に差があらわれる。

●カイコ

昆虫の眠りの特徴として「休眠」がある。脱皮や羽化などの変態の前に体の動きを止めて，体内の構造を変化させている。カイコでは卵やさなぎのときと，幼虫が脱皮する前の一時期にみられる。動物の冬眠とちがい，体内の代謝活動は活発に行われている。

●マグロ

マグロは体の密度が大きく，つねに泳いでいないと沈んでしまう。そのため泳ぎながら眠ることができるといわれている。

一般的に，睡眠中の体の状態によって魚の眠りは3種類に分けられる。①さわると体が柔軟に曲がる。②体が棒のようにかたくなる。③筋肉がゆるんでぐったりする。この三つの眠りが短いサイクルでくりかえされる。このうち③の眠りが進化して高等動物の眠りになる。

●ブダイ

ブダイの仲間には，口から粘液を出して寝袋のようなものをつくり，体全体をおおって眠るものがいる。敵の攻撃を防ぐと同時に，流れに体がさらわれないようにしている。

●肺魚

アフリカの肺魚の中には，乾期に泥の中にもぐりこんで冬眠と同じような状態になるものがいる。体を粘膜でおおって乾燥を防ぎ，そのままの状態で3～4年もすごすことがある。

●カモメ

カモメやアホウドリのような海鳥は，飛びながら眠ることができる。グライダーのように滑空してあまり羽ばたかずにすむときに，左右の脳を交互に眠らせているらしい。

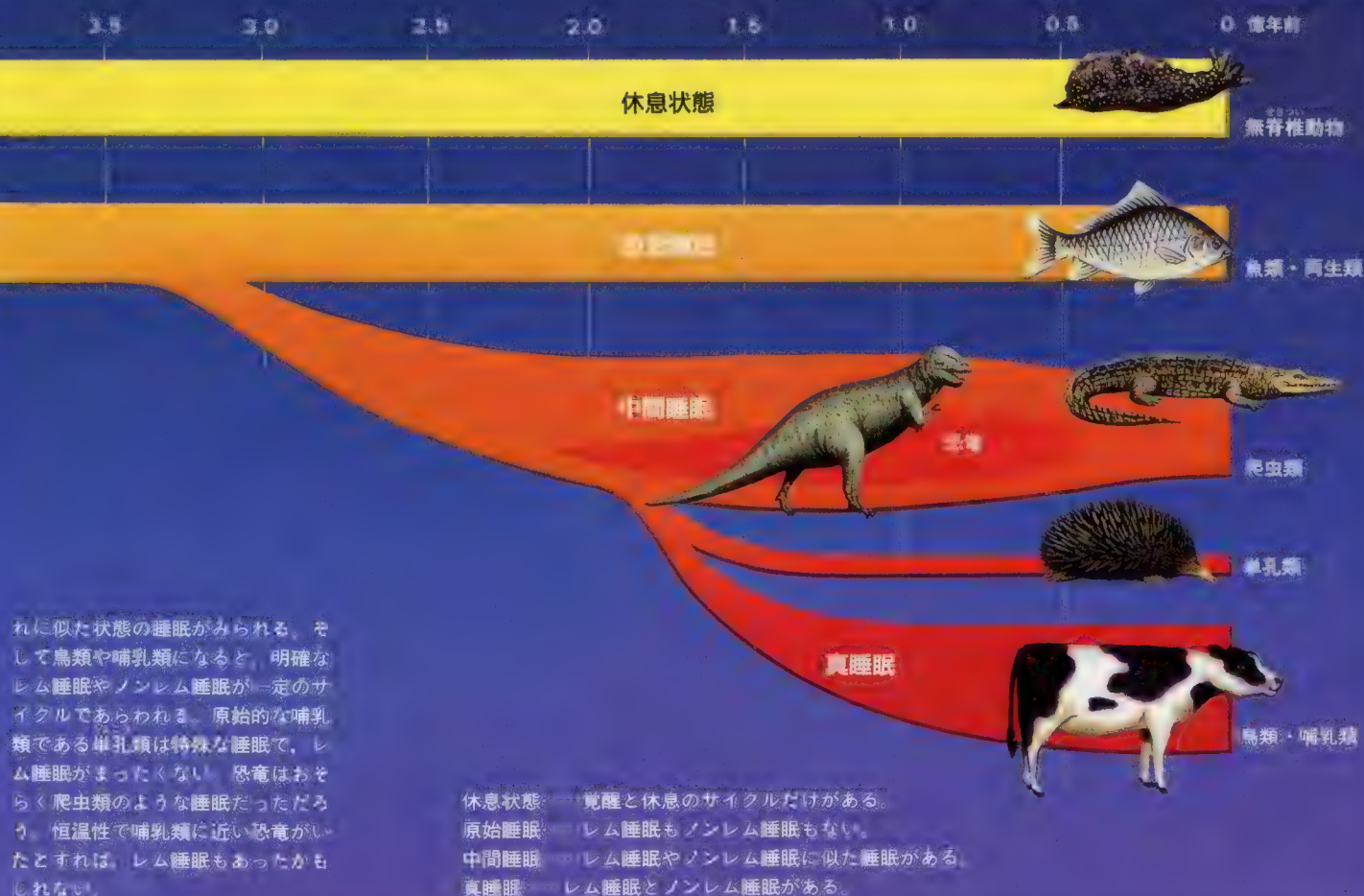
ほとんどの鳥類にはレム睡眠はあるが非常に少なく，睡眠時間の5%ぐらいしかない。木などに止まって眠る鳥にとって，体の緊張がなくなるレム睡眠は好ましくないからである。しかしヒナのときはレム睡眠が多く，成鳥になるにつれて減っていく。

●ハチドリ

体温が高くエネルギーを多く消耗するので，鳥類には睡眠中にエネルギーを節約する技術が発達している。眠りに入ると体温を外気温近くまで急激に下げ，まるで毎晩短い冬眠をしているような状態になる。哺乳類ではせいぜい1度Cぐらいしか下がらないが，鳥類では40度Cの体温が20度Cほどまで下がることもある。これはディリー・トーパーとよばれており，とくにハチドリなどの小型の鳥に多い。

●トカゲ

熱帯アフリカにすむアカマ科のトカゲには，眠るときに体の色をかえるものがいる。ふだんは雄は赤と黒，雌と子供は緑と褐色だが，眠るとき

にはレム睡眠のような眠りがある。

れに似た状態の睡眠がみられる。そして鳥類や哺乳類になると，明確なレム睡眠やノンレム睡眠が一定のサイクルであらわれる。原始的な哺乳類である単孔類は特殊な睡眠で，レム睡眠がまったくない。恐竜はおそらく爬虫類のような睡眠だっただろう。恒温性で哺乳類に近い恐竜がいたとすれば，レム睡眠もあったかもしれない。

にはすべてこげ茶色になる。雄どうしが争うとき体色によって攻撃の対象かどうかを区別するので，「眠りの色」を身につけて攻撃をさけ，安全に眠ろうとする。

●ワニ
ワニは眠ったふりをして，獲物を油断させてつかまえることがある。そのため外見から眠っているかどうか判断するのがむずかしい。そのほかの爬虫類で目を開けたまま眠るものもいる。これは目の筋肉が睡眠とうまく連動していないためである。

●ウシ（草食動物）
外敵を警戒したり，植物を大量に食べるために寝ているひまがないので，草食動物はほんとうに眠っている時間が非常に短い。ウシの場合で約3時間である。眠りを補うために，ウシは反芻（はんすう）（食べた物を何度もかみなおす）しながらうとうとと眠っている状態で，1日の3分の1もすごしている。レム睡眠も短く，1日合わせて30分ぐらいしかない。ただし安全で栄養が十分あるときには，睡眠時間とレム睡眠はかなりふえる。

●ライオン（肉食動物）
肉食動物は外敵を警戒する必要があまりなく，栄養価の高い肉をまとめて食べることができるので，長く深く眠り，レム睡眠も多い。ライオンは1日約10時間も眠る。しかし空腹や危険な状態になると，レム睡眠はかなり減ってしまう。肉食動物も草食動物と同様，状況に応じて睡眠を柔軟に変化させることができる。

●バンドウイルカ
ときどき海上に出て呼吸をしないと窒息（ちっそく）してしまうため，完全に眠ることができない。そのため右脳と左脳を交互に眠らせて，脳の片方はつねに起きているようにしている。同じ理由から，体が弛緩してしまうレム睡眠がまったくない。人間のように左右の脳の機能にちがいがあるわけではないので，どちらの脳が眠っても睡眠状態は同じである。

●ハリモグラ
原始的な哺乳類である単孔類のハリモグラには，レム睡眠がまったくない。レム睡眠中に記憶の取捨（しゅしゃ）選択が行われるという説によると，ハリモグラの脳がかなり大きいのは，レム睡眠で不必要な記憶を捨てることができないためだとしている。

●サル
動物の中で最も人間に近い脳をもつサルは，睡眠の形態も人間に近い。とくにチンパンジーなどの類人猿では，3〜4段階の深いノンレム睡眠もある。しかし睡眠の周期は人間よりもかなり短い。

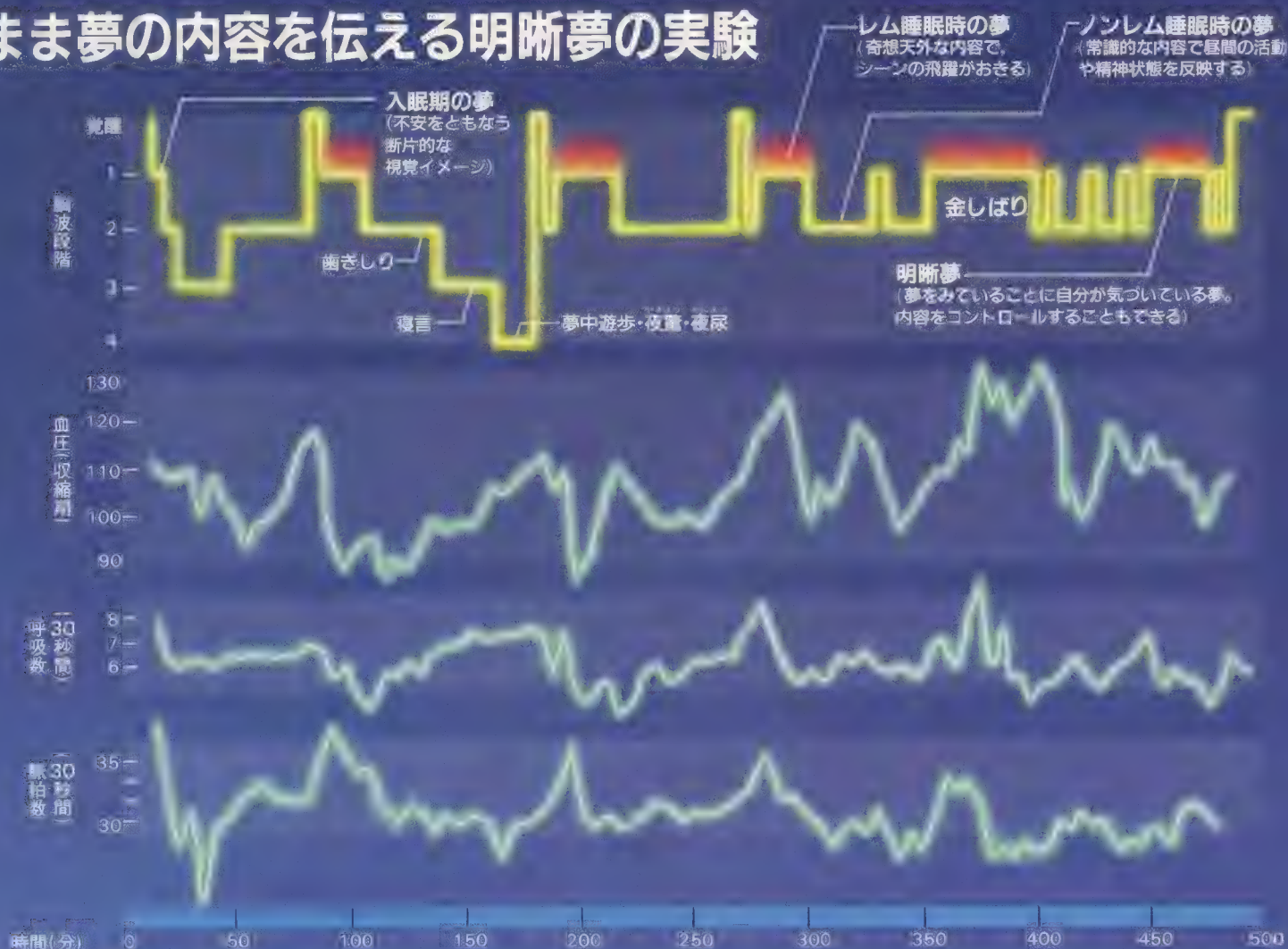
心と夢のなぞをとく。眠った

落ちる夢をみたことがある人は多い。このなんとなく不安な気分をともなう夢は，レム睡眠のときにおきる筋肉の弛緩が信号となって生まれると考えられる。何かに追いかけられて逃げなければならないのに体が動かない夢や，空を飛ぶ夢も同じである。このように夢の内容を体の状態から説明することができる。

アメリカ，ワイオミング大学のデイビッド・フルケスは，寝入りばなに不安をともなう夢をみやすいのは，入眠にともなう感覚遮断の副作用であると説明している。朝方に発生しやすい金しばりは，レム睡眠が引きおこす体の状態である。脳の活動状態が高まって頭は目覚めているのに筋肉の弛緩がおこり，体が動かせない状態になる。現代人の不規則な生活は睡眠周期を乱しやすく，これによって寝入りばなにも金しばりが発生しやすくなる。

悪夢も体の状況から引きおこされると考えられる。レム睡眠のときには心拍数がふえたり，血圧が上昇したりする。心臓がしめつけられ動悸がはげしくなることで，悪夢が引きおこされるのである。狭心症の発作がおきやすいのもレム睡眠時である。このほか，おなかがすいているときに胃からの刺激で食べ物の夢をみたり，膀胱がいっぱいになっている刺激でトイレの夢をみたりすることは容易に想像できよう。

しかし夢の内容は，そんなに単純なものばかりではない。自分の意識や無意識と関連があるのではないか，と思えるような夢をみた経験のある読者も多いだろう。現実のこととして，フロイト以来，精神医療の臨床の場では夢を用いた心理療法が行われ，効果を上げ

19世紀ロマン派の画家ヘンリー・フューズリがえがいた「悪夢」。女性の胸に乗っているのは「夢魔」とよばれる伝説の怪物で，不気味な目をしたナイトメア（夜の雌馬）に乗ってやってくる。レム睡眠時には血圧が上昇し，呼吸数や脈拍数が増加して心臓がどきどきしたり，しめつけられるような感覚が生じる。そのような身体状況が悪夢を発生させるようすを，この絵はよくあらわしている。

一晩の睡眠時にみやすい夢と身体状況

最近ではノンレム睡眠時にも夢をみることがわかってきた。ノンレム睡眠時の夢の特徴は，昼間の活動や精神状態を反映した思考的・常識的なものが多く，夢の内容の原因が特定しやすい。それにくらべてレム睡眠時の夢の内容は奇想天外なものが多い。夢らしい夢をみるのはレム睡眠時である。

ている。脳科学で心と夢の関連を研究することはできないのだろうか。

アメリカ，スタンフォード大学睡眠研究センターのステファン・ラバージらは，「明晰夢」とよばれる夢を用いてさまざまな研究を行っている。自分が夢をみていることを認識しながらみる夢が明晰夢である。これは訓練でみられるようになり，この明晰夢をみる人は夢の内容をコントロールすることも可能である(明晰夢をみる方法については67ページを参照)。

はじめ明晰夢は夢と認められていなかった。眠りから覚めた直後に心をよぎる幻覚であると考えられていたのである。ラバージらは眼球運動を利用して眠ったまま合図を送る実験に成功した。夢をみていることに気づいた時点で，被験者は眼球を右から左へ動かして合図を送るのである。そのときの脳波は睡眠の状態を示しており，明晰夢がまさに夢であることを証明したのである。

夢の中で手を上げたり，足を動かしたりすると，実際には筋肉は弛緩していて動かないが，ポリグラフ記録には筋活動としてあらわれる。ラバージらは現在，眼球を一定方向に動かすことのほかに，手をにぎりしめるなどの信号を用いて，眠ったまま夢の内容を伝える研究を行っている。夢の内容から無意識の意味を引きだそうとしても，目覚めてからの報告だけでは，肝心の部分を忘れてしまっている可能性もある。眠ったまま夢の内容を伝えることができれば，夢と無意識に関する研究は飛躍的に進むと期待されている。

眠りと夢の役割は何か？

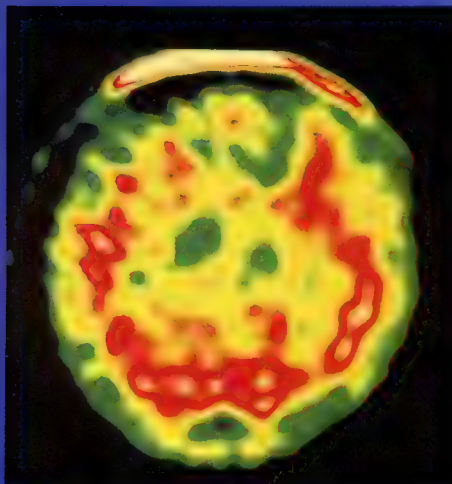
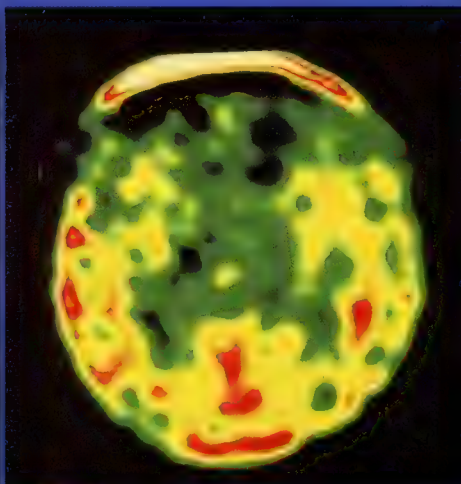
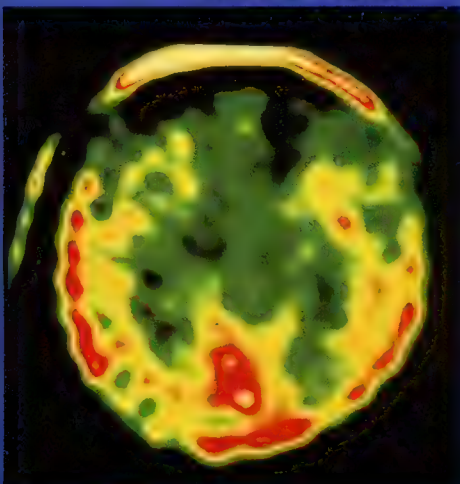
睡眠時間は人によって差があり，なかにはほとんど眠らないという人もいる。70歳の元看護婦は，一晩に平均1時間しか眠らなくてもまったく健康な生活を送ることができたという。さらに極端な例では，2週間のうち合計101分しか眠らなかったという報告もある。それでは人間は眠らなくても生きていけるのだろうか？　この問いに答えるために，睡眠を断つ実験が多く行われてきた。

断眠して一晩目は，まだほとんど問題はおきない。2日目の夜になると眠気が非常に強くなり，脳の機能が落ちて知的な仕事ができなくなる。睡眠は体よりも脳を休ませるために不可欠なので，体の障害はほとんどないが大脳が最も強くダメージを受ける。3日目になると自力では起きていられなくなる。それでも起こしつづけると，「マイクロスリープ」といわれる数秒間の短い眠りが出る。精神的な疲労が増して感情的になる。そして妄想や幻覚などの神経症的な障害があらわれ，精神の正常なコントロールができなくなる。動物実験でさらに数週間にわたって断眠をつづけると，体温が急激に下がって最後には必ず死んでしまう。

このように断眠実験で睡眠が不可欠であることは明らかになったが，なぜ必要なのかということについてはいまだに議論が分かれている。レム睡眠やノンレム睡眠の役割や必要性について正反対の説もある。このように多様な説に分かれているのは，睡眠そのものがまだなぞの多い現象であるからともいえる。

こうした睡眠のなぞを解明する研究は，今後どのように進むのだろうか。PET（陽電子放射断層撮影法）やMRI（核磁気共鳴映像法），MEG（脳磁図法）などの機器が進歩すれば，脳の機能が解明され，人の心が神経回路や脳内物質のはたらきで説明できるようになるかもしれない。それまでにはまだかなりの年月が必要だろう。しかし，少なくとも脳の解明が睡眠と夢の研究を大きく前進させることは確かである。

このような方法以外にも，幅広い分野から睡眠の研究が進められている。遺伝子のはたらきから睡眠の機能を調べる研究や心理学的なアプローチなど，その方法はさまざまである。そして現在，異分野の研究がたがいに歩み寄りをみせはじめている。生理学者と心理学者が共同で研究をする動きや，フロイトなどの理論を脳の機能によって説明しようとする試みもある。このような学際的な研究は，今後ますます活発に行われるだろう。多様な方法をうまく組み合わせて総合的に研究を進めることによって，睡眠の全体像が解明されるにちがいない。そして睡眠とともに，夢の不思議な世界も明らかになっていくだろう。

PETで撮影した覚醒時・睡眠時の脳の画像。脳を水平に切るような面で撮影しており，それぞれ画像の上部が前頭葉，下部が後頭葉にあたる。白，赤，黄，緑の順に脳内の活動状態が高いことを示している。レム睡眠中の脳は，このとき夢をみていたかもしれない。

覚醒

レム睡眠

ノンレム睡眠

脳と心と遺伝子の研究が眠りのなぞを解き明かす。

睡眠の役割に関する諸説

睡眠が大脳を休ませるためのもので，レム睡眠やノンレム睡眠の両方が必要であることは一般に認められている。しかし睡眠にはまだなぞが多く，睡眠の役割については今もさまざまな仮説が発表されている。そのうち代表的なものをいくつか紹介しよう。

●レム睡眠重視説

睡眠は生理的，神経的な機能を回復させるためのものとする説。レム睡眠は高等動物に多く，脳を活性化するはたらきがあるので，高度な精神活動を維持するために必要である。

●ノンレム睡眠重視説

高度に発達した大脳の疲労を回復させるため，とくに深いノンレム睡眠が必要とする説。ノンレム睡眠を含む最初の数時間以外は，いわばおまけの眠りなので減らすこともできる。

●回復説

睡眠は体の発育や修復のためのものとする説で，ノンレム睡眠中に成長ホルモンが大量に分泌（ぶんぴつ）されることが根拠の一つである。

●本能説

睡眠は本能の一つであり，眠ると幸せな気分になるのは本能的な欲求が満たされるためとしている。睡眠が自然のリズムに合わせた生物リズムに依存するのも，本能が生まれつきプログラムしたものだからである。

●睡眠不要説

睡眠の役割は疲労回復ではなく，動物が外敵をさけてエネルギーを節約するためのものなので，現代人には必要ないという説。本能が退化すれば眠らなくてもすむようになるとしている。

●記憶定着説

レム睡眠は学習や記憶の定着のために必要という説。レム睡眠中に神経回路の機能をととのえたり，昼間の記憶を整理して余分な情報を消去し，必要なものだけを定着させるとしている。

●模擬演習説

レム睡眠中に脳の中で行動の模擬演習をしており，夢は脳の感覚活動の演習であるという説。根拠には出生前後にレム睡眠が多いことと，レム睡眠と夢見が密接に関連することなどがある。

眠りと夢のQ&A

Q 「夢のお告げ」はほんとうにあるのか？

A 夢は現実におきたこと、あるいはおきていることを反映している。病気の兆候を含めて体の中でおきている変化や、過去の経験、日ごろの願望などが夢の内容に影響をあたえる。それらのすべてを本人が覚醒時に意識しているとはかぎらない。知らず知らずのうちに体験したことや、潜在的な願望も反映されるので、時にはまったく身に覚えがないような突拍子もない夢をみる可能性もある。まわりの騒音など寝ている間に受ける外界からの刺激も夢にあらわれることがある。したがって夢によってまったく未知のことを知るといったような「夢のお告げ」はありえないことになる。

聖書を題材にしたジョットの「ヨアキムの夢」。夢で妻が身ごもったことを知らされる。

Q 最適な睡眠時間とは？

A 一般的には7〜8時間といわれる。これ [illegible] [illegible]

[illegible] ンシュタインやチャーチルは長時間眠り、ナポレオンやエジソンは3〜4時間しか眠らなかったというが、彼らの業績に優劣があるわけではない。このように眠りの長さはその人の個性や価値観にもよる。それに同じ人でも環境の変化によって睡眠時間が左右される。したがってあまり固定観念にとらわれず、自分に必要な睡眠時間を経験的に割りだして、それに見合った睡眠をとるようにしたほうがよい。睡眠不足がすぎると頭がすっきりせず、仕事や勉強もはかどらない。かといって寝すぎると目覚めのしくみがうまくはたらかなくなり、いわゆる「寝疲れ」という状態におちいってしまう。寝すぎて頭が痛くなるのは、レム睡眠がふえて血管が収縮してしまうためである。適切な長さの睡眠を規則的にとるようにしよう。

Q 仮眠はとったほうがいいのか？

A 3〜4時間しか眠らなかったといわれるナポレオンも、実は居眠りで睡眠不足を補っていたという説がある。居眠りは浅い眠りで、本格的な睡眠ではない。それでも脳生理学的見地からは、居眠りは脳の疲労をとるうまい方法だといえる。わずか10分ほどの居眠りで血圧が下がり、心拍数や脈拍が遅くなって全身がほぐれ、非常にリラックスした状態になることが実験で確かめられている。深く眠ってしまうより居眠りのほうがかえって目覚めの気分もよい、という結果も出ている。したがって睡眠不足解消のみならずリラックス法としても居眠りは有効である。日本人に特有といわれる電車の中での居眠りも積極的に行ってよい。[illegible]

しいが、数分うとうとする程度でも右脳を活性化させるなどの効果が期待できるので、うまく時間をくふうしてなるべく昼寝をするようにしたい。

Q 寝つけないときはどうしたらいいか？

A まず夕食。肉類は消化に時間がかかるうえ代謝を高めるはたらきが強く、食べてから3時間はおかないと睡眠に悪影響が出る。アルコールは少量ならリラックスするという意味で効果があるが、多量に飲んでむりやり寝ても眠りが浅くなりレム睡眠も減ってしまう。寝る前にコーヒーやお茶、コーラなどカフェインを含んだ物を飲まない。寝る直前まで仕事をしたりしないで、1〜2時間のリラックス・タイムを設けるとよい。好きな音楽を聴いたり、体をほぐしてくれる程度の軽い運動をするのも効果がある。最近は寝る前にハーブティーを飲んだり、ヒノキのチップを入れたまくらを使うなど、香りによって精神をくつろがせ入眠に役立てる方法もとられるようになった。牛乳には鎮静作用をもつカルシウムと、体内で睡眠物質にかわるトリプトファンという成分がある。いらいらしてどうしても眠れそうにないときはホットミルクを試してみるとよい。

Q さわやかに目覚めるには？

A 朝目覚めて頭がすっきりしているのは、レム睡眠から覚醒したときである。反対に起きてもずっと頭がぼんやりしているのは、ノンレム睡眠から目覚めたときである。これらの現象は睡眠時間が長くても短くてもおきる。したがってさわやかな目覚めに重要なのは睡眠のリズムということになる。[illegible]

毎日一定の時間に眠り、一定の時間に目覚めるような習慣を身につけることが肝心(かんじん)である。けたたましい目覚まし時計のかわりに音楽を使ったり、歯みがき粉やチューインガムなどでペパーミントのようなさわやかな香りをかいだり、熱めのシャワーをさっと浴びることなども気分のよい目覚めの助けになる。

Q 悪夢をみないためには?

A 悪夢をみる原因には二つのカテゴリーがある。夢をみる本人に問題がある場合と、睡眠の環境に問題がある場合である。前者の例には心配事や不安、体の変調、暴飲暴食などがあり、後者にはふだんとちがうところで寝たり、布団が重すぎたり、窮屈(きゅうくつ)な姿勢で寝たりすることなどがあげられる。したがって悪夢をみないためにはこうした原因を取り除いてやればよい。また自分が夢をみているのだとわかっている状況(明晰夢)では、夢を自由にコントロールすることができる。この明晰夢をみられるように訓練すれば、悪夢をみてもそれをよい夢にかえられる。明晰夢をみるために心理学者のパトリシア・ガーフィールドによって考案された訓練法は次のようなものである。①早朝に夢からしぜんに目覚めるようにする。②目覚めたあと、みた夢を思いだし記憶する。③自分に「この次に夢をみるときには夢をみていることに気づきたい」といい聞かせる。④目を閉じて夢をみているときのように目を動かす。

レム睡眠中の目の動きを検知し、赤い光を点滅させることによって、眠っている人に夢をみていることに気づかせる装置。スタンフォード大学の心理学者ラバージが開発した。

Q「金しばり」をとくには?

A 金しばりはノンレム睡眠を経ずに覚醒からレム睡眠に直接入る現象である。明け方や昼寝のときにおきやすい。レム睡眠にある一定のリズムがあって、午睡中にレム睡眠が出やすいためである。金しばりになったら、レム睡眠に入ったのだといい聞かせて心配しないことである。異常なものでないことを知っていればあわてることはない。金しばりは睡眠不足がつづいているとき、不規則な眠りをとっているときにおきやすいので、生活スタイルを見直してみるのが予防として役に立つ。

Q 寝言に答えてはいけないのか?

A 「寝言に答えてはいけない」といわれるのは、眠りをさまたげるからである。寝言に答えるのは音の刺激をあたえることになる。その覚醒効果で眠りが浅くなる。まして、その答えがその人にとって意味のあることならば、その覚醒効果はさらに強くなる。目覚まし時計のようなものだと思えばわかりやすいだろう。

Q 食後に眠くなるのはなぜか?

A 一般に食事をして眠くなるのは全身の血液が胃にいってしまい、脳に血液がまわらなくなるからだといわれる。しかし本当は食べ物の中に含まれている睡眠物質が脳にはたらきかけて、眠くなってしまうのである。[illegible]

カラーの夢をみたいという願望をもちつづけていれば、いつかみることができる可能性もある。

Q 色つきの夢をみるには?

A 夢は白黒で色がないと考えている人がいる。しかしカラーの夢をみる人は案外多く、2人に1人かあるいはそれ以上という調査結果もある。画家、カメラマン、ファッションデザイナーなど、ふだんから色彩に関心の深い人に色彩をともなう夢をみる人が多い。また女性のほうが男性より色つきの夢をみる傾向が強いという。今までみたことのない人が、カラーの夢に対する関心をもちつづけた結果、みるようになった例もある。とくに最近は街角ばかりでなく生活空間にもけばけばしいほどの色彩があふれているので、今後色つきの夢をみる人はふえていくと考えられる。

Q 春先に眠いのはなぜか?

A 理由が二つ考えられる。まず寒い冬から暖かくなってくると、体の新陳代謝がさかんになる。つまり体が使うエネルギーが増すので、それに比例して眠りへの欲求が高まる。またきびしい冬の寒さはわれわれを緊張させるが、春になって暖かくなるとそのような刺激による心身の緊張が減り、眠りをさまたげるものがなくなる。眠りの[illegible]が高まり、同時に眠りをさまたげるものが減ることによって[illegible]ということになる。

イルカは人の心

1500グラムの脳に秘められた能力

国立科学博物館 宮崎信之

イルカといっしょに水中にもぐると，イルカたちのおしゃべりがたえまなく聞こえてくる。イルカたちの言葉がわかれば，まったくちがった世界が開けてくることだろう。

がわかる

イルカには想像を絶するほどの知能や能力があるといわれている。トレーナーの指示でみごとなジャンプを披露するイルカたちは，人間からの伝達情報を理解して行動しているようにみえる。最近ではイルカと遊ばせることによって自閉症児の治療効果が高まったという報告もある。イルカと人間のコミュニケーションが可能になる日は近いのか。脳構造や生態からイルカの知能と能力を探る。

曲芸に秘められたイルカの能力は未知数である。

最近は，イルカの生態を紹介するテレビ番組が多くなってきている。茶の間でテレビ画面を通してイルカに親しみを感じる人がふえたのではないだろうか。しかしイルカに対する一般の人々の関心の高まりに反して，水中生活に完全に適応した哺乳類（ほにゅう）であるイルカと，私たち陸上で生活している人間との接点は非常に限られている。

人間が野生のイルカと出会う機会は海で偶然にみたり，海岸に漂着したイルカをみたりする場合に限られる。多くの人がはじめてイルカと出会うのは，おそらく水族館においてではないだろうか。

水族館のトレーナーの指示にしたがって，イルカは忠実にさまざまな種類のジャンプや空中における前後左右の回転を披露（ひろう）する。時には，水中の尾びれを動かして水面に出ている体を前後左右に移動させる「テイルウォーキング」など，自然界ではみられない高度で複雑な芸を演じることもある。

イルカはなぜこのような曲芸をすることができるのだろうか。トレーナーの指示にしたがわせたり，野生では行わない行動を引きだすには二つの条件が必要である。第一にイルカの潜在能力を見いだすこと，第二にイルカと人間とのコミュニケーションを成立させることである。

水族館での曲芸でよく見かけるテイルウォーキング。野生のイルカはこのような行動はしない。尾びれを上下に動かすというイルカの"潜在能力"を引きだした曲芸である。

イルカどころか人間のIQ測定も難航している。

いったいイルカにはどのくらいの知能があるのだろうか？「知能」という言葉には大きく分けて三つの意味が含まれる。第一はさまざまに変化する状況に適応する能力，第二は経験によって獲得する学習能力，第三は言語や記号などを用いて，抽象（ちゅうしょう）的な思考をする能力である。

野生のイルカの行動や，曲芸などを通した人間とのやりとりから推測すると，イルカには状況に適応する能力と学習能力が十分にそなわっていると考えられる。しかし言語や記号などを用いて抽象的な思考をする能力があるかどうかはまだ十分に実証できていない。しかし科学的に実証できないからといって，イルカに抽象的な思考能力がないということはできない。

では，もしイルカに抽象的能力があるとすれば，それはどのようなもので，どのくらいの能力があるのか，たいへん興味深い。

しかしこのような能力の推定は困難である。人間についてさえ，知能を正確に推定することはたいへんむずかしい。人間の知能を客観的に知るために，知能指数（IQ）による推定などさまざまな試みがなされているが，完全な方法はみつかっていない。知能は年齢や環境によってことなるだけでなく，人間がもっている潜在能力についても人間自身が気づいていないことがたくさんあるからである。イルカについてどころか，人間についてさえも能力を正確に推定する方法がまだみつかっていないという状況である。

イルカは私たち人間と同じ仲間の哺乳類である。しかし人間とはまったくことなる海という環境に生活しているために，人間がイルカの潜在能力を解明することは至難のわざである。これまでイルカの知能の解明に向けて，人間はどのような方法を用いて研究してきたのだろうか。またその結果，これまでにどのようなことがわかってきたのだろうか。

イルカの知能を知るために，これまで二つの方法が試みられてきた。解剖学的な特徴をもとに，その潜在能力を推定する方法と，実際の行動を観察して機能的にその潜在能力を推察する方法である。

霊長類に匹敵するほど発達した脳をもつイルカ

イルカの脳はたいへん発達しており，大きくて重く，大脳半球には複雑な脳溝（のうこう）（しわ）がみられる。大脳皮質（ひしつ）の単位体積あたりの細胞やニューロン（神経細胞）の数が非常に多く，神経の分布がたいへん複雑である。

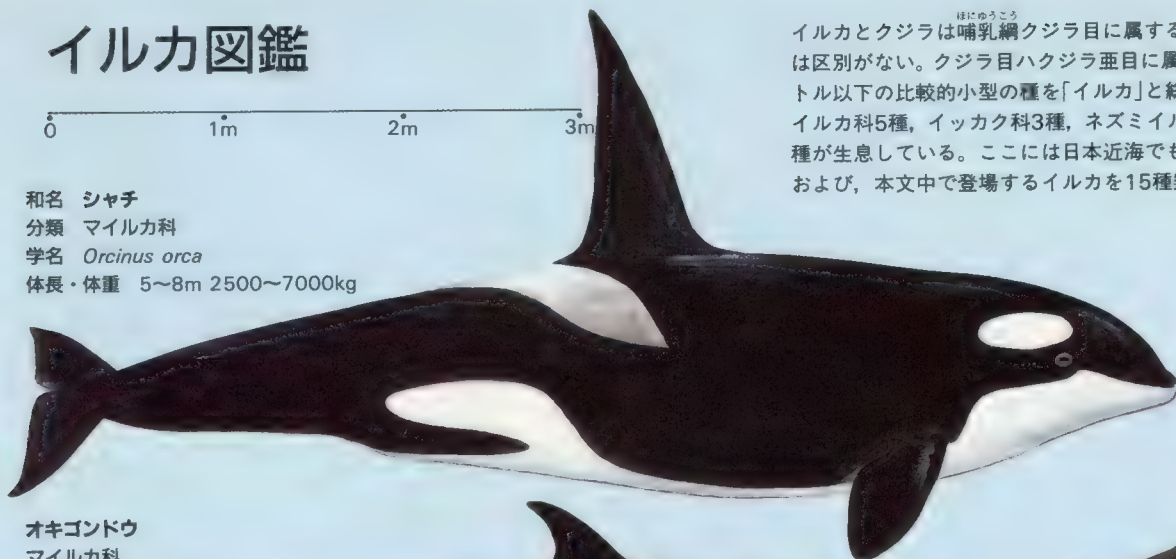
イルカとほかの哺乳類の脳重量と，体重に対する脳重量の割合を比較してみよう。脳重量ではマッコウクジラやインドゾウなど大型の哺乳類が上位を占めているが，体重に対する脳重量の割合では逆に下位に置かれる。イルカはどうだろうか。バンドウイルカの成体では脳重量が1500グラムである。この値は日本人の成人男性の脳重量に近い。バンドウイルカの体重は約250キロであるから，体重に対する脳重量の割合は0.6％になる。この割合は，ゴリラやニホンザルなどの霊長（れいちょう）類をしのいでいる。

大脳半球のしわの数はどうだろうか。バンドウイルカのほうが，ヒトよりしわが複雑でその数も多い。バンドウイ

イルカ図鑑

0　1m　2m　3m

イルカとクジラは哺乳綱クジラ目に属する仲間であり，分類学的には区別がない。クジラ目ハクジラ亜目に属する種のうち，7〜8メートル以下の比較的小型の種を「イルカ」と総称している。現在，カワイルカ科5種，イッカク科3種，ネズミイルカ科6種，マイルカ科31種が生息している。ここには日本近海でもみることができるイルカおよび，本文中で登場するイルカを15種類紹介する。

和名　シャチ
分類　マイルカ科
学名　*Orcinus orca*
体長・体重　5〜8m 2500〜7000kg

オキゴンドウ
マイルカ科
Pseudorca crassidens
5〜6m 1000〜2000kg

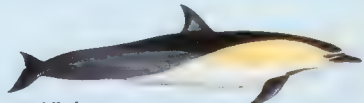
ガンジスカワイルカ
カワイルカ科
Platanista gangetica
1.5〜1.8m 35〜70kg

コビレゴンドウ
マイルカ科
Globicephala macrorhynchus
4.2〜6.5m 1200〜3000kg

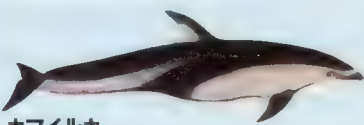
ハシナガイルカ
マイルカ科
Stenella longirostris
1.8〜2m 75〜90kg

シロイルカ
イッカク科
Delphinapterus leucas
4〜6.5m 500〜1400kg

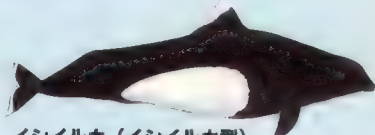
マイルカ
マイルカ科
Delphinus delphis
2m 80〜120kg

バンドウイルカ（ハンドウイルカ）
マイルカ科
Tursiops truncatus
3〜4m 150〜350kg

カマイルカ
マイルカ科
Lagenorhynchus obliquidens
2〜2.4m 100〜140kg

セミイルカ
マイルカ科
Lissodelphis borealis
2〜3m 60〜90kg

スナメリ
ネズミイルカ科
Neophocaena phocaenoides
1.4〜1.8m 30〜45kg

イシイルカ（イシイルカ型）
ネズミイルカ科
Phocoenoides dalli
1.8〜2.3m 120〜150kg

スジイルカ
マイルカ科
Stenella coeruleoalba
2.2〜2.6m 100kg

アラリイルカ（マダライルカ）
マイルカ科
Stenella attenuata
2.1〜2.7m 100〜140kg

イシイルカ（リクゼンイルカ型）
ネズミイルカ科
Phocoenoides dalli
1.8〜2.3m 120〜150kg

イルカの脳は発達している。
バンドウイルカは大きくて重い脳をもつ。脳重量の体重に対する割合は海生哺乳類より霊長類に近い。

ルカの大脳皮質の面積は3745平方センチである。ヒトの大脳皮質の面積は2500平方センチであるから，ヒトよりも1.5倍も広いことになる。

さらにイルカの神経細胞の密度はヒトやチンパンジーとほとんど差がない。つまりイルカの脳には，ヒトやチンパンジーよりも神経細胞の数が多いことになる。

体重に対する脳重量の割合やしわの数などから，バンドウイルカの脳は霊長類に匹敵(ひってき)する記憶容量や情報処理能力をもっていることがわかる。

視力を失い，聴力にたよるガンジスカワイルカ

イルカの脳神経の発達状態を調べてみると，内耳神経が太くなっている。このことは，聴覚(ちょうかく)神経が発達していることを物語っている。それにくらべ，視覚や皮膚感覚をつかさどる神経の発達はあまりよくない。臭(しゅう)覚は欠如している。

どんなにきれいな海でも，水中における透明度はそれほど高くない。そのためイルカの視覚では，せいぜい20～30メートルぐらい先までしか感知できないだろう。濁(だく)度の高いガンジス川に生息しているガンジスカワイルカは水晶体（レンズ）が退化してしまっている。明暗と光の方向しかわからないため，聴覚機能にたよって生活せざるをえない。水中における自分の位置を知り，えさや障害物を感知するために，イルカはエコロケーション（音響探査）を使っている。視覚がほとんど失われたガンジスカワイルカでは，みずからが発する超音波の指向性を高めるために上顎骨(じょうがつこつ)がパラボラアンテナ状に発達している。

イルカのおしゃべりを理解できたら世界がかわる。

霊長類に匹敵する記憶容量や情報処理能力のあるイルカとのコミュニケーションが可能になれば，人間はこれまで知ることのできなかった海の世界や野生動物の世界に関する情報を入手することも可能になる。さらにことなった発想や思考を学ぶことができ，人間社会に新たな刺激をあたえることはまちがいない。

イルカといっしょにもぐると，イルカたちがたいへんおしゃべりであることにおどろかされる。レコーダーによって調べてみると，イルカは200キロヘルツから350キロヘルツをこえる超音波も使用していることがわかる。これらの超音波は主にエコロケーションに使用されており，水中でえさや障害

物の存在を知るのに使われている。人間の可聴域は16ヘルツから20キロヘルツであるから，エコロケーションに使われている超音波を聞くことはできない。私たちが水中で耳にするのは，イルカどうしのコミュニケーションに使われていると思われる周波数の低い音の一部であろう。

イルカと人間とのコミュニケーションを成功させる第一の方法は，イルカの言葉を理解することである。このためにはまず，イルカの発する音を分析しなければならない。音の分析はレコーダーがあれば簡単にはじめられるので，これまで世界中の多くの研究者により広く実施されてきた。しかし行動との関連づけがむずかしいために，発せられる音を細かく意味づけるまでには発展していない。

20年にもおよぶ人間の言葉を教える努力

イルカとのコミュニケーションを成功させる第二の方法として，人間の言語をイルカに教えることを試みている研究者がいる。ハワイ大学のハーマン教授はこの方法を使用して20年以上も前から，イルカとのコミュニケーションに取り組んでいる。イルカは単語だけでなく文章も理解できることがわかってきたが，人間とイルカとの間で情報を自由に交換できるレベルまでには至っていない。

このように「イルカの発する音を解釈する方法」も「人間の言語を教える方法」も，イルカとのコミュニケーションを成功させるという最終目的にはほど遠い状態である。その状態を打開するためにも，別のまったく新しい発想でこの課題に取り組む研究者が出てきてもよいのではないだろうか。このような分野に挑戦(ちょうせん)する若者の出現が待たれる。

「愛他主義」は本能かそれとも知的行動なのか

アルゼンチン沖に生息するセミクジラの雌には，繁殖期に交尾する雄を選ぶ行為がみられる。きらいな雄にせまられた場合にはその雄から逃げることもある。しかし時には，その逃げる雌をほかの2頭の雄がおさえつけ，その間に目的を果たす雄がいるという観察例が報告されている。

この行為は「愛他主義」とよばれている。雌を逃がさないように協力した2頭の雄はどのように考えてこのような行為をするのか，たいへん興味がある。たんに本能による行動なのだろうか。それとも種の保存を考えた知的行動なのだろうか。

母イルカは必死に子イルカを生き返らせようとする。

イルカなど海生哺乳類の子は，しっぽの方から産まれる。母親の体から産まれ出た子イルカは呼吸するために水面に向かって泳がなければならない。そのためにはしっぽから産まれたほうがつごうがいいのだろう。

まれに死産の場合がある。母イルカは死んで泳げない子イルカを呼吸させようと，自分の口吻(こうふん)（口先）で子イルカを水面に押し上げようと何回となく必死で努力する。私が水族館で観察したときには，2日間母イルカはえさをとることなく，このような行動をくりかえしていた。水族館のスタッフによれば，そのままにしておくと何日間も母イルカはえさをとることなく，死んだ子イルカを生き返らせようと必死に努力する。そのために母イルカも衰弱して死ぬこともあるので，早い段階で死んだ子イルカを取り上げることにするという。

母イルカは，子イルカの死を知っていながら子イルカをいとおしく感じ，なんとか生き返らせようとして必死で水面上に押し上げているのか。それとも本能的にこのような行動をしているのか。現在の段階ではまだよくわからない。

水族館のスタッフが死んだ子イルカを取り上げようとボートをイルカに近づけると，母イルカは子イルカをかばって，ボートをさけるように子イルカを運び去る。死んでいる子イルカをはさんで，水族館のスタッフと母イルカの根比べがつづくという。イルカはたいへん好奇心の強い動物で，しばしば水面に浮かんでいる木片などにたわむ

近づいてきた船を観察するためにジャンプするイルカ。着水したときの音で仲間に情報を伝達しているらしい。イルカのジャンプには遊びや寄生虫を落とすためなどさまざまな目的がある。

れていることがあるが，このように長時間はつづかない。したがって，死産の子イルカを水面に必死で押し上げるという行為は，たんに本能による行動としては片づけられない。イルカには，人間が理解できない知的感覚があるのかもしれない。

イルカは弱った仲間を助けようとするか

西ヨーロッパの古い書物の中には，おぼれている人間をイルカが助けた話などがあり，イルカと人間の親密な関係がしるされている。しかし少なくとも私は，おぼれた人間をイルカが助けたという事実は知らない。

ではイルカどうしではどうだろうか。1975年6月，東京大学海洋研究所の「淡青丸(たんせい)」が日本海でイルカの生態調査をしている最中に，群れからはなれて1頭の死亡したカマイルカが浮かんでいるのが観察された。船を近づけてみると，別の1頭のカマイルカがその死んだ個体に寄りそうように泳いでいた。死亡していた個体を船に引き上げて調べた結果，死後あまり時間がたっていないことがわかった。そのときの状態から判断して，おそらく死んだ個体に寄りそっていたイルカは，死んだ仲間を助けようとしていたのではないかと推測された。

ところが1984年6月に北太平洋でイルカの調査をしていた際に，もりが打ちこまれて仮死状態のイルカを観察する機会があった。そのまわりで寄りそうように泳いでいたイシイルカは，さかんに傷ついた仲間を水面に押し上げようとしていた。しかしこれは，先ほどの例のように仲間を助けようとしていたのではないらしい。その2頭のイルカを調べてみると，傷ついて弱っていた個体は発情雌，このイルカを水面に押し上げようと体を押しつけていた個体は成熟雄であった。しかもこの雄を船上に引き上げてみると，ペニス(陰茎(いんけい))は体外に出ており，その先端から精液が流れ落ちていた。おそらく，この成熟雄は傷ついて弱っていた発情雌に果敢(かかん)に交尾をいどんでいたのではないかと想像される。この雄の行為は発情という本能的行動なのだろうか。それとも何か知的な意味があるのだろうか。

イルカの行動を知的とするか本能と解釈するかは，どうも人間のかたよった見方に左右されがちである。イルカの行動については，さまざまな角度からもっと科学的にくわしく調べてみる必要がある。それによってこれまで人間の知らなかったイルカの別の一面が明らかになるかもしれない。

敵か無害かを判断するのはイルカである。

学生時代に，私はイルカの調査地である伊豆半島で，ほぼ自然に近い状態のイルカと接触する機会に恵まれた。シュノーケルをつけて水面に浮かんだ状態でイルカを観察していると，最初のうちは，私の存在を意識してかイルカは近づいてこない。

しかしじっと観察をつづけていると，だんだん警戒心がとけてイルカは私に少しずつ接近してくるようになった。おどろいたことに，そのうち手を出せば十分にさわることができる距離まで近づいてきた。イルカは頭部を左右に動かしながら私を観察しているようなしぐささえみせる。1頭のイルカが私に平気で近づくようになると，群れのほかのメンバーも警戒心をといて近づいてくる。最後には私の存在をまったく無視して，何事もなかったような行動をとるようになった。おそらく私はイルカにとって害のないものとみなされたのであろう。

オーストラリアのシャーク湾「モンキー・マイア」にいる10数頭のバンドウイルカは，野生にもかかわらず毎日浜辺の近くにやってくる。そこでは，イルカたちは人間にさわられるのも平

ハワイ大学で行われているイルカとのコミュニケーションの実験。「サーフボードを飛びこせ」というトレーナーの命令にしたがい，近くにある別の物はさけてサーフボードを正しく選ぶ。

自閉症児の治療方法の一つとしてイルカとの対話が注目されている。はじめはこわがっていた子供もしだいになれ，最後にはイルカの背中に乗って遊ぶまでになるという。

気であるし，人間から手渡しで魚のえさをもらうこともできるほどなれている。このように野生のイルカであってもつきあい方を考えれば，コミュニケーションは可能であることが実証されている。

イルカとのコミュニケーションについて，机上(きじょう)で計画を立てるとすれば，すでにのべたように音を媒介(ばいかい)とした手段が最も有効で，応用範囲が広い。しかしイルカといっしょに同じ水中で泳いだ経験からすれば，これとは別に，人間がイルカの世界に身を置いてみなければわからない，今までとはまったく別の手段にも大きな可能性がかくれているように思う。いずれにせよ，人間が無害かどうかを判断してコミュニケーションの主導権をにぎるのはイルカのほうである。

自閉症児のつきあい方にコミュニケーションのヒントが

最近アメリカでは，自閉症児(じへいしょう)の治療の一つとしてイルカと遊ばせることを取り入れ，よい結果を得たという報告がある。健康な人はイルカと接触するときに，どうしても自分のほうからイルカに積極的に近づこうとする。するとイルカは警戒してうまくいかないことが多い。反対にイルカが人間に近づいてくれるのを待ったほうがうまくコミュニケーションできるのである。その意味では，自閉症児のほうがイルカとのコミュニケーションを成功させる潜在的能力をそなえているともいえる。

現代人は，人間社会に最もよく適応するように育てられ，つくりあげられたために，人間どうしのコミュニケーションにはたいへんすぐれている。しかし一方では，人間が本来もっている自然とコミュニケーションする能力を低下させてきたともいえるのではないか。人間が本来もっていた「自然とのコミュニケーション」を可能にする能力の重要性が，自閉症の子供とイルカとの接触を通して再確認されてきたのはとても喜ばしいことである。

人間がこの地球上でほかの生物と共存していくためには，この自然とのコミュニケーションをたいせつにする必要がある。人間とイルカとのコミュニケーションを考える際にも，このような観点からの取り組みが意味をもってくるのではないだろうか。読者の中からイルカとのコミュニケーションの研究に取り組もうという研究者があらわれることを期待している。

完全保存版

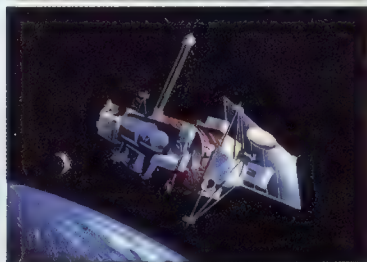
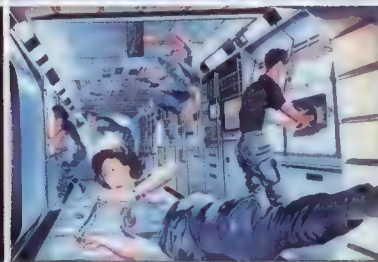
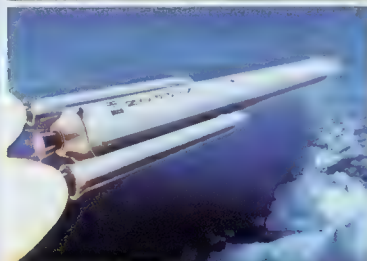
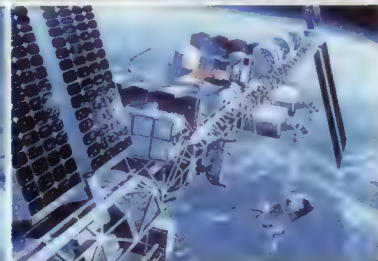
世界の宇宙開発

2000年までの主要ミッション

世界の宇宙開発は現在，予算不足などによって計画の縮小や見直しなどが続出している。このようなきびしい状況の中で，各国は国際協力による宇宙開発の拡大をめざしはじめた。今後の宇宙開発にはどんな計画があるのか。2000年までのアメリカ，ロシア，ヨーロッパ，日本などの宇宙開発の主要ミッションを紹介する。

資料作成・監修 **堺 一弘** 有人宇宙システム(株)

計画一覧

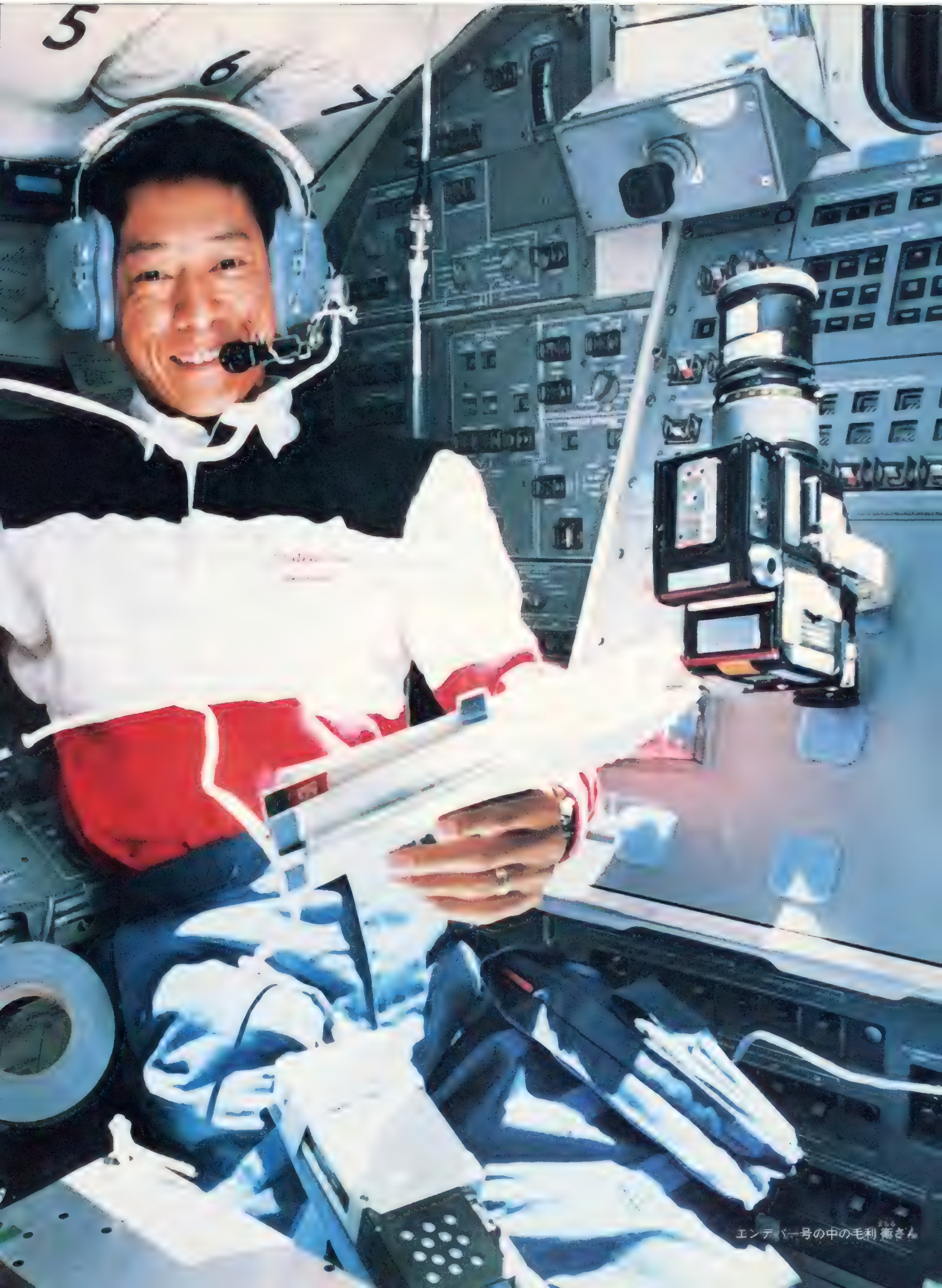
紹介

今回紹介する資料は，アメリカ，ヨーロッパ，日本，ロシアが現在実施または計画策定，構想中の2000年までの主要な宇宙計画を，各分野1枚ずつ把握しやすい形でまとめたものである。ただし宇宙通信分野関係の計画は除き，ヨーロッパはESA（ヨーロッパ宇宙機関）の計画に焦点を当てた。計画の確定度合いや予算見通しの状況などはことなるが，いずれも各国が現時点で推進，実現のために力を入れているものを網羅するように努めた。1990年代後半の計画は，これから出現するものが多い。計画やスタディの進行にともなって，スケジュールの変更やとりやめなどもおこりうる。

日本人初のスペースシャトル搭乗 毛利 衛さん

毛利さんを乗せたスペースシャトル，エンデバー号は，今年9月12日10時23分（アメリカ東部時間）ケネディ宇宙センターを飛び立った。1985年に宇宙飛行士として選ばれてから実に7年，待ちに待った飛行だった。

エンデバー号のペイロード・ベイに与圧実験室「スペースラブ」が積みこまれ，日本の宇宙開発事業団（NASDA）が計画した宇宙実験「ふわっと'92」が行われた。宇宙空間に出た初日には宇宙酔いの症状が出たが，2日目からはその症状も消えた。実験用ラックの水もれというアクシデントもあった。しかし宇宙飛行士たちやNASA(アメリカ航空宇宙局)のすばやい対応と，飛行が予定より1日延長されたことなどによって，予定の実験をすべて行うことができた。

毛利さんは子供たちに向けての宇宙授業や，宇宙からの記者会見なども精力的にこなし，9月20日，約530万キロメートルの飛行の末，ケネディ宇宙センターに無事帰還した。宇宙での毛利さんのようすはテレビや新聞で連日報道され，それは私たち日本人にこれまでになく宇宙を身近に感じさせてくれた。

エンデバー号での毛利さんの宇宙実験については，次号でくわしく紹介する。同時に今後の日本の宇宙開発についても特集するつもりである。ご期待いただきたい。（編集部）

エンデバー号の中の毛利衛さん

姿をかえる宇宙開発分野の国際協力——堺 一弘

今年の9月，スペースシャトル，エンデバー号による日本の「ふわっと'92」(SL-J)ミッションは，有人の宇宙実験活動をリアルタイムで日本の家庭の茶の間に紹介した。ペイロードスペシャリスト（搭乗科学技術者）として乗り組んだ宇宙開発事業団の宇宙飛行士，毛利衛さんは，NASA(アメリカ航空宇宙局)の同僚とともに数多くの材料処理実験やライフサイエンス実験を分きざみでこなした。みずから宇宙医学実験の被験者になったり，小学生のための宇宙教室を開いたりもした。

フリーダム宇宙ステーション

スペースシャトルの与圧実験室「スペースラブ」を利用した実験は，SL-Jまでで今年に入って3回目である。これによって地上で不可能な新合金や革新的な医薬品などを，宇宙の微小重力環境を利用して生成するための研究・実験活動にはずみがつきはじめた。これらの活動が実際的な効果をもたらすまでには，SL-Jのような実験が数多くなされる必要がある。

NASAの宇宙計画の中で1990年代最大のものは，国際宇宙ステーション「フリーダム」の開発・建設である。計画にはアメリカの呼びかけにこたえて，ヨーロッパ，日本，カナダが，実験モジュールなどを分担して参加する。フリーダム開発のための総費用は，各国合わせて約400億ドル（約5兆円）にもおよぶ。

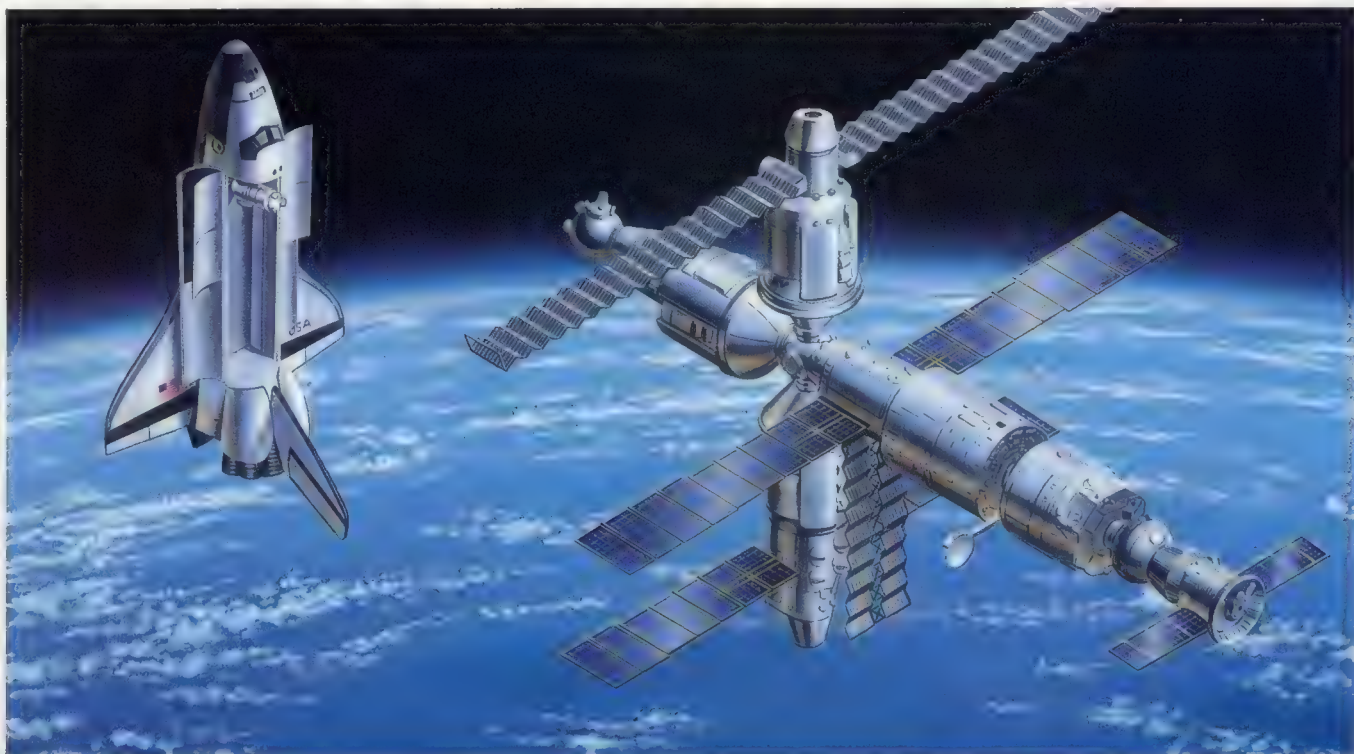
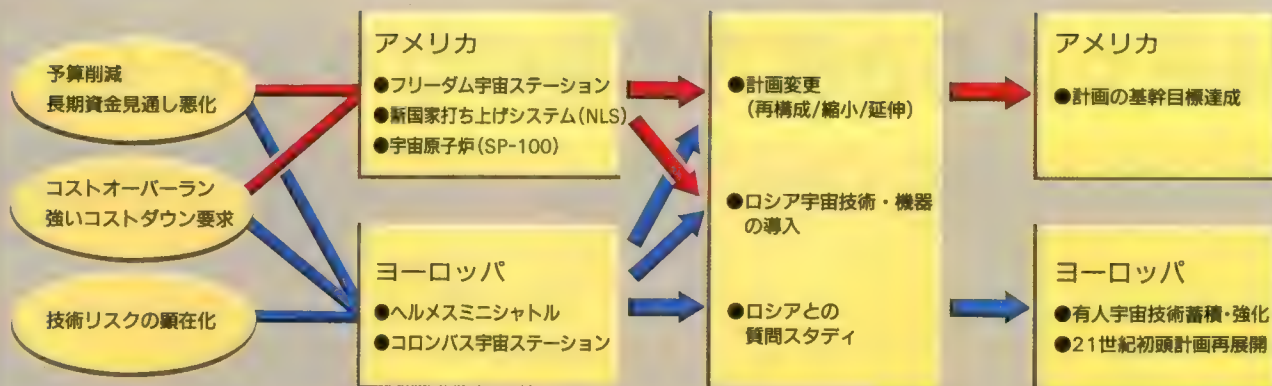
フリーダム建設のためのシャトル打ち上げは1995年からはじまり，97年には最初のステーション実験を開始，2000年から本格的な常駐実験や観測活動に入る。日本人を含む4人の科学者と技術者からなる国際乗組員が6か月交代で勤務につく。

ロシア宇宙技術へのアメリカの接近

現状ではアメリカの財政事情からNASAの開発資金がおさえられ，進行は必ずしも順調ではない。NASAでは開発費のコストダウンのための方策に知恵をしぼっている。その方法としては，乗組員の緊急脱出機にロシアのソユーズ有人宇宙船を利用することや，フリーダム関連の打ち上げにロシアのエネルギア大型ロケットを使用することなどがある。採用するかどうかの検討結果はこれからだが，つい2～3年前までは予想もできなかった対応といえる。

東西の冷戦構造の終結，旧ソ連の崩壊とそれにともなう新しい国際秩序への動きは，宇宙開発の分野にも大きな影響をあたえている。

今年6月のアメリカとロシアの首脳会談で，両国間の新しい宇宙協力協定が結ばれた。両国の宇宙飛行士の，ミール宇宙ステーションとアメリカのスペースシャトルへの搭乗交換，ミールとシャトルのドッキングなどが合意された。ソユーズ宇宙船やエネルギアの利用検討も協力項目の一部である。ロシア人宇宙飛行士のシャトル搭乗は1993年11月，アメリカ人宇宙飛行士のミー

アメリカのスペースシャトルと，ロシア（CIS）の宇宙ステーション「ミール」のドッキングの想像図。数年前までは考えられなかった計画が，2～3年後に実現する可能性が非常に大きい。

アメリカ，ヨーロッパ大型宇宙計画と今後の方向性

大型ロケット「エネルギア」や，宇宙ステーション「ミール」での実験データなど，ロシア（CIS）の宇宙技術には魅力が多い。難航中の大型計画実現のために，アメリカもヨーロッパもロシアへの接近を一つの選択肢として考えている。

ル搭乗，シャトルとミールのドッキングは95年に実現する。

ロシア宇宙活動の現在の状況

旧ソ連時代の宇宙技術や宇宙計画はほとんど新生ロシアに引きつがれた。それは必ずしもすべて最新の先端技術を追求したものではない。その特徴は低コストで信頼性が高く，必要なときに容易に衛星や軌道モジュールを打ち上げられる強じんな宇宙インフラストラクチャー（基礎構造）にある。

ロシアは現在きびしい経済環境にあり，宇宙活動も縮小を余儀なくされている。打ち上げ数は半減し，宇宙開発関連の巨大な製造企業体も経営維持のため民需への転換を模索し，多くの宇宙技術者がほかの分野へ転出する現象も発生している。宇宙技術なども外貨を獲得するための手段としてかりだされている。ミールの外国人有料搭乗はその例である。

他方NASAは宇宙計画の全般的なコストダウンを強く要求されている。「より安く，より早く，よりよく」が今のNASAの宇宙開発計画のモットーである。ロシアの宇宙技術や機器へのアメリカの接近は，まさに両者の要求が一致した結果である。

ヨーロッパ有人宇宙飛行計画

アメリカ以上にロシアの宇宙技術への接近をはかっているのがESA（ヨーロッパ宇宙機関）である。ヨーロッパの有人宇宙活動の自立性を確保するため，ESAは2000年ごろまでには独自の有人ミニシャトル「ヘルメス」を開発し，独自の宇宙ステーション「コロンバス」を建設しようと計画を進めてきた。しかしこれも東ドイツ併合コストを抱えるドイツをはじめ，加盟各国の財政難から長期的な開発資金の見通しが悪化した。

ESAは計画の見直しをせまられ，この秋には「コロンバス計画」を当面凍結し，ヘルメスは技術開発計画に後退する方針を決定する方向にある。本誌が発売されるころにはその結果も出ているだろう。そして有人宇宙技術をロシアから包括的に導入して技術的な蓄積をはかるとともに，ヨーロッパ諸国の財政状況が好転した暁には，次世代ミニシャトルをロシアと共同開発したいという。現在の状況を，宇宙先進国の重要な宇宙技術を広範に導入できる貴重な機会としてとらえ，21世紀ヨーロッパの宇宙活動の展開にそなえたいという戦略がうかがわれる。共同研究資金のロシアへの供給は，経済支援としても役立つ。

より大きな国際協力に向けて

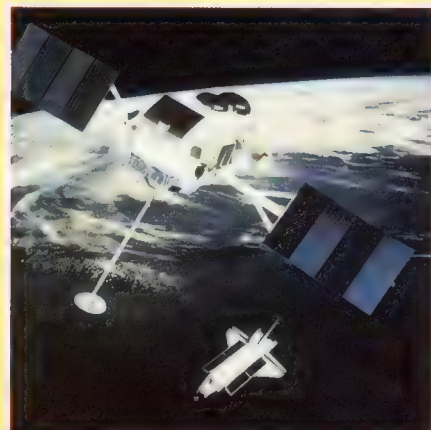
冷戦時代の覇権争いのための米ソの宇宙競争を軸に大きく発展してきた世界の宇宙開発は，今大きな転機をむかえている。宇宙先進国でも宇宙開発関連の予算は，何よりも優先したものとしての処遇を期待することがむずかしくなった。しかし地球環境保全のための惑星地球ミッションから，人類の夢をかきたてる火星有人飛行に至るまで，着手・拡張すべき大規模な宇宙計画はめじろ押しである。

新しい時代を背景としたこれらの計画は，世界各国がそれぞれの役割をになって参加した国際協力プロジェクトとして実施されるのが望ましい。ロシアの低コスト打ち上げシステムも含め，各国が技術力・経済力・想像力を持ち寄って計画策定段階から参加し，計画を進めることにより，計画効果を高めることができる。先端宇宙技術が各国間の競争によって進展することは否定できないが，それにもまして時代の変動は21世紀に向けて世界が新しい宇宙国際協力体制を構築する基盤を提供しつつあるといえる。

太陽系やはるか彼方の星のなぞをとく。

地域	分野	1991〜96
アメリカ	惑星探査	
	●マースオブザーバー（火星）	☆マースオブザーバー　火星到達
	●マゼラン（金星）	金星全表面レーダー画像取得一巡・地図作製
	●ガリレオ（木星） ●カッシーニ（土星） ●冥王星探査	☆ガリレオ小惑星ガスパラ遭遇　イオ遭遇　木星到達
	宇宙大天文台シリーズ	☆ハッブル宇宙望遠鏡（HST）　軌道上改修　軌道上保守
		☆コンプトンガンマ線天文観測機（GRO）
		＊印はISTP参加衛星
	天文，天体・宇宙物理	
	●太陽地球物理国際協力計画（ISTP）シリーズ	WIND＊（太陽風）　POLAR＊（オーロラ）
	●エクスプローラーシリーズ	EUVE（極紫外線天文）　XTE（X線天文）
	●ミニエクスプローラー（SMEX）シリーズ	SAMPEX（太陽・磁気圏）　FAST（オーロラ）　SWAS（サブミリ波天文）
	●スペースシャトル搭載観測	アストロパス（AS）-1（独米）　アストロ2　AS-2　AS-3　AS-4
ヨーロッパ	太陽・惑星探査	ユリシーズ太陽極軌道観測機＊（欧米共同）　太陽南極域到達
		ジオット彗星探査機再始動（グリグスジュルラップ彗星遭遇）
	天文，天体・宇宙物理	ISO（赤外線天文）　ソホー＊（太陽コロナ）　クラスタ＊（プラズマ物理）
日本	月・惑星探査	プラネットB（火星周回）
	天文，天体・宇宙物理	ようこう（太陽）　ジオテール＊（磁気圏，日米共同）　ASTRO-D（X線天文）　MUSES-B（電波天文）
ロシア（CIS）	惑星探査	火星94　火星96
	天文，天体・宇宙物理	レリクト2＊（宇宙背景放射）　レガッタクラスタ＊（プラズマ物理）
	ミール搭載観測	クバントモジュール（X線天文）

NASAの木星探査機「ガリレオ」

NASAの土星・タイタン探査機「カッシーニ」

NASA（アメリカ航空宇宙局）の惑星探査機は現在3機が航行中，さらには土星探査やさいはての冥王星探査も計画されている。宇宙空間から深宇宙を観測するミッションや，ハレー彗星探査以来の大型国際協力計画「太陽地球物理国際協力計画(ISTP)」など多くのミッションによって，太陽系から深宇宙までの未知の部分が解明されることが期待されている。

97	98	99	2000	01

☆印はNASAフラッグシップ（旗艦）ミッション

火星調査後続ミッション

☆カッシーニ土星探査機

☆冥王星探査機

☆先端X線天体物理観測機(AXAF)

☆宇宙赤外望遠鏡(SIRTF)

ACE(宇宙放射)

FUSE(紫外線天文)

ホイヘンス・タイタンプローブ(アメリカ「カッシーニ」に搭載，タイタン降下2004年)

XMM(X線天文)

ルナーA(月探査)

火星98

打ち上げ
主要イベント

計画未承認，構想段階
または不確定要素の多いもの。

●**惑星探査**　NASA（アメリカ航空宇宙局）の無人惑星探査は太陽系調査に輝かしい成果を上げてきた。NASAはさらに個々の惑星の詳細調査へと，1989年からマゼラン（金星），ガリレオ（木星），マースオブザーバー（火星）などの探査機を打ち上げた。マゼランはすでに金星の厚い雲のベールをはがし，ほぼ全表面のビジュアルなレーダー画像を取得した。最遠の冥王星の訪問も計画中。

●**宇宙大天文台シリーズ**　地球軌道上にハッブル宇宙望遠鏡のような大型の天文台衛星を配置，われわれの銀河系からはるか深宇宙の天体や物理現象を，可視域から赤外線，X線，ガンマ線などの広範なスペクトル領域で観測し，宇宙生成やブラックホールのなぞにもせまろうというもの。惑星探査とともにNASAの旗艦ミッションである。

●**太陽地球物理国際協力計画(ISTP)シリーズ**　ハレー彗星探査につづく大きな宇宙科学国際協力。アメリカ，ヨーロッパ，日本，ロシアが参加し，太陽と地球の相関関係などを多くの衛星で観測する。

●**エクスプローラーシリーズ**　エクスプローラー1号はアメリカ最初の人工衛星。「バンアレン帯」を発見した。シリーズは今なお宇宙科学に貢献。

●**ミニエクスプローラー(SMEX)シリーズ**　航空機発射のペガサスロケットで打ち上げできる200キロ程度の小型科学衛星。

●**スペースシャトル搭載観測**　スペースシャトルに各種テレスコープを搭載。宇宙飛行士も参加し，昨年はマゼラン星雲で超新星候補を発見した。

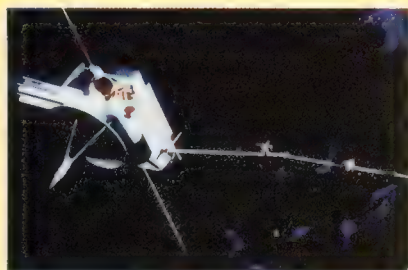
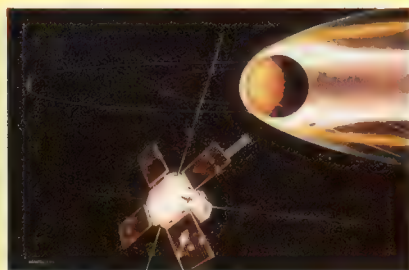
●**太陽・惑星探査**　ユリシーズはこれまでのような黄道面からでなく，太陽活動の活発な両極方向から太陽を観測する。観測開始は1994年5月。

●**天文，天体・宇宙物理**　「ホライズン（地平線）2000宇宙科学計画」によるプロジェクトを実施。ISTP参加衛星は1995年に2機打ち上げられる。

●**月・惑星探査**　日本の宇宙科学研究所も1990年代後半に月面地質調査や火星周回観測を構想。そのためミューロケットの大型化を進めている。

●**天文，天体・宇宙物理**　「MUSES-B」は衛星と内外の地上電波天文台を組み合わせた宇宙超長基線方式(VLBI)によりクェーサーなどを観測する。

●**惑星探査（火星シリーズ）**　将来の火星有人国際飛行にそなえて無人探査機を1994年から2年ごとに火星へ送りこむ。ヨーロッパ，アメリカも応援している。

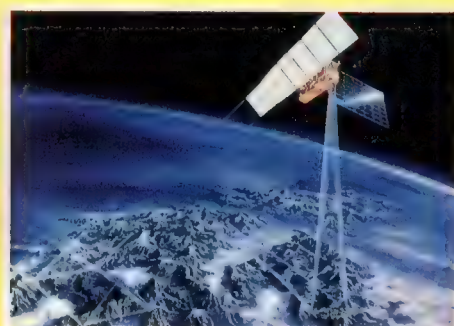
●**天文，天体・宇宙物理**　ミールのクバントX線観測などロシアのX線・ガンマ線電波天文観測は従来からさかん。ISTP計画のレガッタクラスタはヨーロッパのクラスタと提携し同時に打ち上げられる。

ヨーロッパ・アメリカ共同の
太陽極軌道観測機「ユリシーズ」

日本の宇宙科学研究所の
火星探査計画「プラネットB」

NASAの「コンプトンガンマ線
天文観測機（GRO）」

宇宙からオゾン層や海洋などを観測する。

地域	項目	1991 / 92 / 93 / 94 / 95 / 96
アメリカ	高層大気研究衛星（UARS）	UARS運用
	スペースシャトル搭載観測 ●アトラスシリーズ	アトラス-1　アトラス-2　アトラス-3　アトラス-4
	●シャトルレーダー，レーザーレーダー観測（SRL，LITEシリーズ）	SRL-1　LITE　LITE-2　SRL-2
	地球プローブシリーズ ●トムス（TOMS）オゾン層観測	ロシアメテオールにトムス搭載　トムス-1
	ランドサット地球観測衛星	ランドサット5運用　ランドサット6
	運用気象衛星シリーズ（静止衛星ゴーズ，極軌道ノア）	ノア-12　ノア-I　ゴーズ-I　ノア-J　ゴーズ-J　ノア-K　ノア-L
	測地衛星	ラジオス-1運用　ラジオス-2（米伊共同）　ラジオス-3
	地球観測システム（EOS）計画 ●基幹衛星	
ヨーロッパ	ERSレーダー観測衛星	ERS-1　ERS-2
	トペックス・ポセイドン衛星	海洋トポグラフィ観測（米仏共同）
	スポット地球観測衛星（仏）	スポット2運用　スポット3　スポット4
	運用気象衛星シリーズ	MOP-2運用　MOP-3
日本	ERSレーダー観測衛星	ERS-1
	MOS，TRMM，アデオス衛星	MOS-1b運用　アデオス1
	運用気象衛星シリーズ	GMS-4運用　GMS-5
ロシア（CIS）	ミール搭載観測	プリローダ地球観測棟結合
	レーダー観測衛星	アルマツ地球，オケアン系海洋観測衛星系運用　アルマツ2
	リザルス回収観測衛星	
	運用気象衛星シリーズ ●極軌道衛星メテオール	メテオール2，3系運用　静止気象衛星ゴムス初打ち上げ

NASAの「高層大気研究衛星（UARS）」

アメリカ，フランス共同の「トペックス・ポセイドン衛星」

日本のNASDA（宇宙開発事業団）の地球資源衛星「ERS-1」

オゾン層の破壊や熱帯林の破壊など，地球環境の破壊が問題化して久しい。地球環境問題への対応の一つとして，宇宙からの地球監視がある。有害な紫外線を防ぐオゾン層の観測や，地球環境に重要な役割を果たす海洋の観測，天候にかかわりなく地上を観測できる合成開口レーダーを搭載したERS衛星など，幅広い地球観測ミッションが現在，実行・計画されている。

次世代プラットフォーム型観測衛星をめざすNASDAの「ADEOS」

宇宙輸送システム

ロケットからシャトル，スペースプレーンへ。

1991　92　93　94　95　96　97　98

アメリカ

- スペースシャトル運用：エンデバー就航　4機編成で年8〜9回飛行／固体ブースタロケット性能向上／次期有人宇宙輸送システム概念評価
- 新国家打ち上げシステム（NLS）開発：開発
- 民間使い捨てロケット運用：「タイタン3，4（大型）」「アトラス2（準大型）」「デルタ2（中型）」「スカウト（小型）」など運用
- 航空機発射ロケット（ペガサス）：運用

ヨーロッパ

- アリアン4運用：運用
- アリアン5開発・運用：開発／試験機打ち上げ
- ヘルメスミニシャトル開発（計画全面見直し）：計画見直し／有人宇宙機スタディ（ロシア共同）

日本

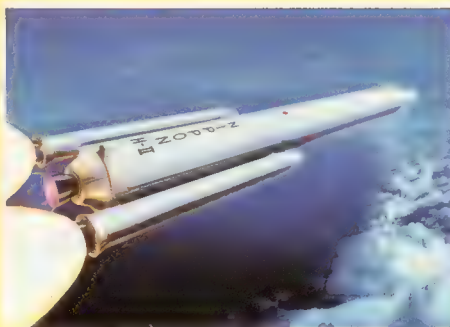
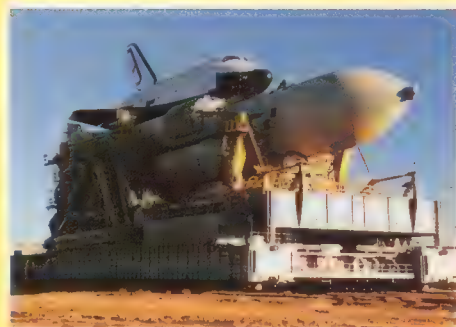
- H-I運用終了　H-II開発・運用：H-I運用終了／H-II試験機打ち上げ／運用機打ち上げ
- ホープ（無人宇宙往還機）：再突入実験
- 科学衛星用ミューロケット運用

ロシア（CIS）

- 現有ロケット運用：「プロトン（大型）」「ソユーズ（有人機用）」「ゼニット（新型）」「コスモス（小型）」などのロケット運用
- ソユーズTM有人宇宙船，プログレス無人補給船運用：運用
- エネルギア超大型ロケット，ロシアシャトル開発：無人シャトル，ミール接続／縮小型エネルギアM初飛行

スペースプレーン（技術研究）

- NASP（アメリカ宇宙航空機）：X-30実験機開発是非の決定（技術開発計画へ縮小？）
- ゼンガー（独）（2段式）：技術研究計画（第1段階HYTEX，第2段ホーラス）
- 暫定ホトル（英）（暫定：2段式）：ロシアと共同研究（ロシアのアントノフ220輸送機を第1段として発進）

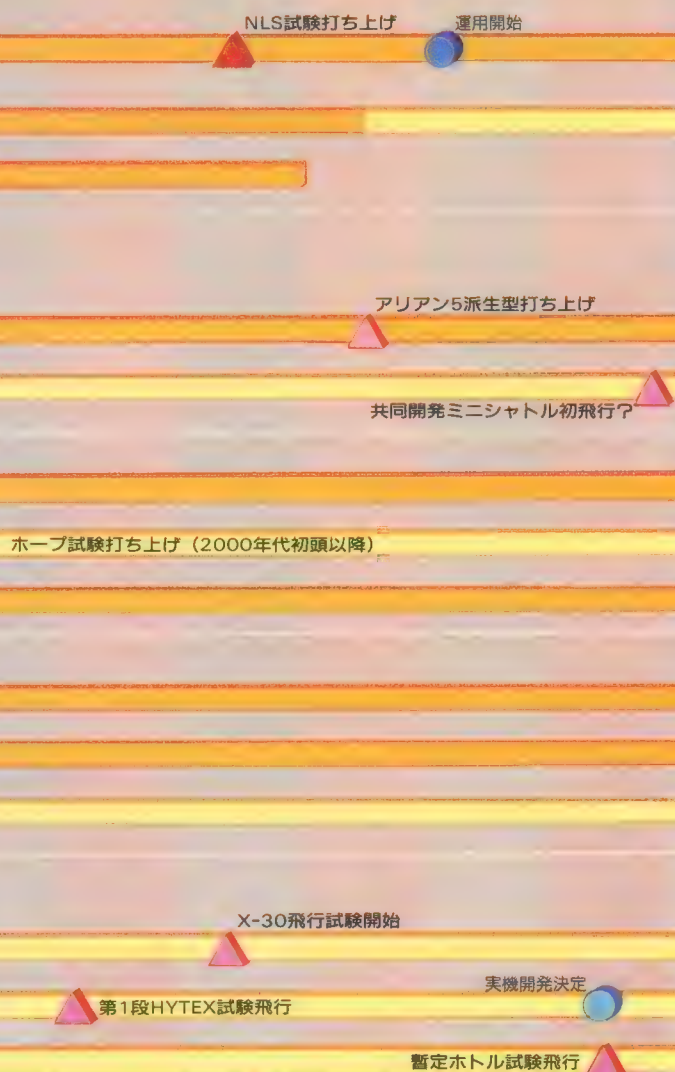
NASAのスペースシャトル最新鋭機「エンデバー」

NASDAの「H-II」ロケット

ロシア（CIS）の大型ロケット「エネルギア」とロシア版シャトル「ブラン」

宇宙へ進出するには，用途に合った性能のよいロケットや，スペースシャトルのような宇宙往還機などの輸送システムが不可欠である。将来のフリーダムへの往還へ向けて，日本でも「H-II」ロケットやシャトル型の無人往還機「ホープ」の研究が進められている。さらにアメリカの「NASP」など，シャトルの次をになうスペースプレーンの技術研究も進行中である。

99	2000	01	02	03	04	05

打ち上げ
主要イベント

計画未承認，構想段階または不確定要素の多いもの。

NLS試験打ち上げ
運用開始
アリアン5派生型打ち上げ
共同開発ミニシャトル初飛行？
ホープ試験打ち上げ（2000年代初頭以降）
X-30飛行試験開始
実機開発決定
第1段HYTEX試験飛行
暫定ホトル試験飛行

●スペースシャトル運用 搭載コンピューターシステムなどを一新した新造機エンデバーを含めシャトルは4機編成。2015年ごろまでだいじに運航される。

●新国家打ち上げシステム（NLS）開発 低コストで整備が容易，しかも安全性・信頼性の高いロケットがNLSの開発目標である。低軌道打ち上げ能力は25～70トン。

●民間使い捨てロケット，航空機発射ロケット 商業衛星や軍用衛星，中小型の科学衛星の打ち上げは民間運用の使い捨てロケットの役割。国防総省は大顧客。ペガサスは小宇宙ベンチャーの開発。

●アリアンロケット アリアンスペース社運用のアリアン4は，世界の商業衛星打ち上げ市場の50％以上を獲得。アリアン5は有人宇宙機打ち上げ可能。

●ヘルメスミニシャトル開発 計画変更によりロシアの支援で有人宇宙機の徹底スタディを3年ほど実施，その結果をみて開発構想をねり直す。

●H-I，H-II 2トン級静止衛星打ち上げのH-IIは，全段日本の自主開発技術。登場が待たれる。

●ホープ ホープ開発の技術課題は，大気圏突入，その際の耐熱保護，無人着陸，自動ランデブー・ドッキングなどである。

●現有ロケット運用，ソユーズTM有人宇宙船，プログレス無人補給船運用，エネルギア，ロシアシャトル開発 低コストで必要なときに容易に打ち上げができる大小のロケット，有人・無人宇宙船はロシアの宇宙インフラストラクチャー（基礎構造）の中核である。NASAもフリーダムの乗組員緊急避難機や，NASA計画衛星の打ち上げなどへの利用を検討している。ロシアのきびしい経済事情はロシア版シャトルの有人飛行の実現を当分の間許さない。シャトル当面の目標はミールへの無人ドッキング実験。エネルギアの縮小版の開発は外国資金に期待。

●NASP NASPのエンジンの開発研究は，アメリカのロケットエンジンメーカーが企業連合方式で進行。しかし実験機開発の青信号はまだ。

●ゼンガー ドイツでもスペースプレーンの研究がさかんだが，本格的な開発活動は2000年以降。

●ホトル イギリス政府が計画から撤退し，開発企業のブリティッシュエアロスペース社はロシアとアントノフ大型飛行機からの発進をスタディ中。

ロシア（CIS）のアントノフ大型飛行機から発進するブリティッシュエアロスペース社の「ホトル」

宇宙での実験は人類に何をもたらすのか。

1991 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96

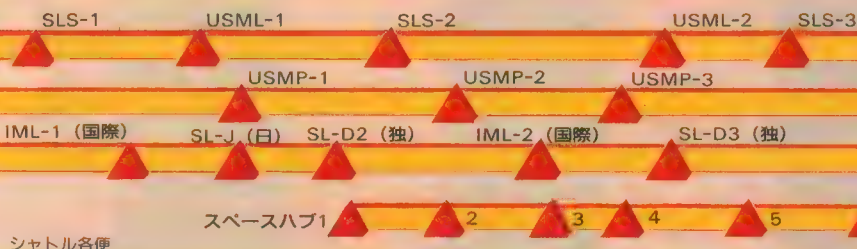
宇宙ステーション

- 国際宇宙ステーションフリーダム（米・欧・日・加）
- ミール（ロシア）：クリスタル，クバントモジュール搭載実験／成果品のプログレスカプセルでの回収開始

スペースシャトル搭載実験(アメリカ)

- スペースラブ･アメリカ実験(与圧室実験)：SLS-1／USML-1／SLS-2／USML-2／SLS-3
- スペースラブ･アメリカ実験(与圧室外実験)：USMP-1／USMP-2／USMP-3
- スペースラブ国際・外国実験：IML-1（国際）／SL-J（日）／SL-D2（独）／IML-2（国際）／SL-D3（独）
- スペースハブ実験（商業施設）：スペースハブ1／2／3／4／5／6
- シャトル2次ペイロード実験（中甲板，ゲタウェイスペシャル）：シャトル各便

シャトル回収フリーフライヤー

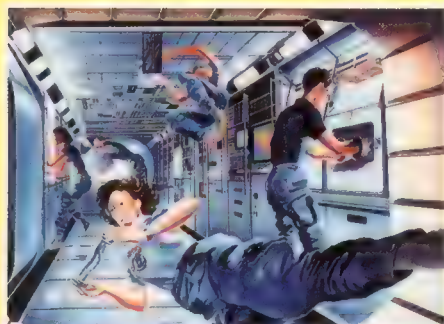
- ユーレカ，スパス（欧），SFU（日）：ユーレカ(欧)-1L／スパス-3（欧）／SFU（日）

回収衛星実験（材料実験）

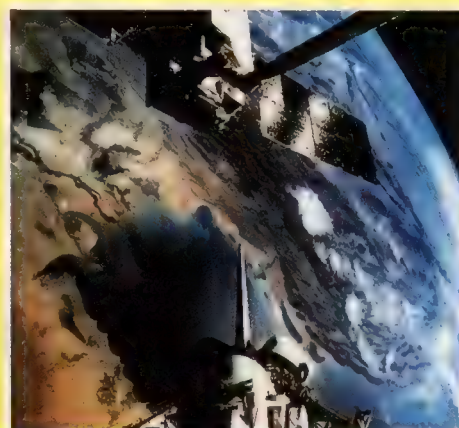
- アメリカ（コメット）：開発／初打ち上げ予定
- ロシア（リザルス）：運用
- ロシア（フォトン）：運用（回収ペイロード500kg）
- ロシア（ニカ）：開発中（回収1200kg）
- 中国（FSW-2）：FSW-1運用／FSW-2（回収300kg）

回収衛星実験（生物実験）

- ロシア（バイオサット）：運用

弾道小型ロケット実験

- （運用中）　スターファイヤー（米民間）　メーザ（スウェーデン）　テキサス（独）　たけさき(日)
- （開発中）　ジョウスト（米民間）　マクサス（独民間・スウェーデン）

フリーダムの実験モジュール内での実験風景想像図

スペースラブでの材料実験「USML-1」のモジュール内部

アメリカのシャトルから放出されるESAの「ユーレカ」

人間が宇宙空間など微小重力環境に置かれると，宇宙酔いや骨の中のカルシウムの流失などがおきる。今後さらに宇宙へ進出しようとする人類にとって，微小重力環境が人体にあたえる影響などを調べるライフサイエンス実験はたいへん重要である。宇宙空間の微小重力環境では，地球上では不可能な材料や医薬品をつくりだせる可能性がある。

97	98	99	2000	01

初期実験開始
材料処理実験
常駐実験開始
先端材料処理・生命科学実験
フォロオンミール（ミール2）
USMP-4
USMP-5
SL-E2（欧）
7
8
（▽はシャトル回収ミッション，SFU打ち上げはH-II）

打ち上げ
主要イベント
計画未承認，構想段階
または不確定要素の多いもの。

●**フリーダム，ミール**　ミールに長期滞在する宇宙飛行士の宇宙医学データの蓄積はアメリカにも魅力。フリーダムの宇宙実験は1997年から開始。最初は材料実験に焦点を当て，順次火星に向けたライフサイエンス実験など実験分野を拡大する。

●**スペースラブ・アメリカ実験**　SLSはライフサイエンス，USMLは材料処理実験で，いずれもスペースシャトル搭載の与圧実験室スペースラブ内のアメリカ専用実験。USMPは宇宙空間暴露の装置での実験。アメリカの先端技術研究の主導権確保，アメリカ企業の開発研究活動支援の役割をになう。

●**スペースラブ国際・外国実験**　IMLはアメリカ，ヨーロッパ，日本の共同実験。今年9月のSL-Jの毛利さんの活動は，有人宇宙実験をリアルタイムで茶の間に紹介した。この分野はドイツも熱心。

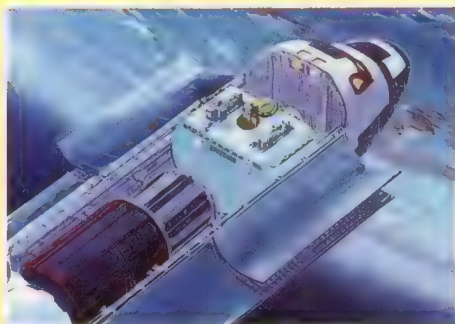
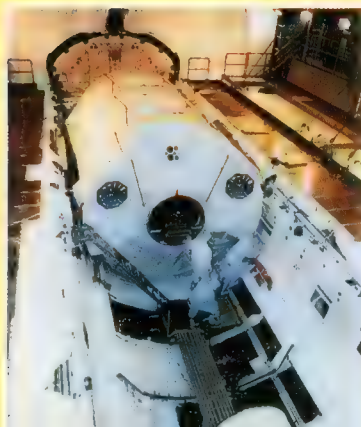
●**スペースハブ実験（商業施設）**　アメリカの民間会社が開発したシャトル搭載の小型有人実験室（スペースラブの3分の1の大きさ）。NASAも利用。

●**シャトル2次ペイロード実験**　貨物室搭載のキャニスターや操縦室下の中甲板を使った小規模宇宙実験。シャトル飛行のつど，手軽に実施できる。

●**シャトル回収フリーフライヤー**　ユーレカ，SFUは半年程度の自由飛行，無人実験後，シャトルで回収される宇宙実験プラットフォーム。ただしSFUの打ち上げは，シャトルでなく日本のH-II。

●**回収衛星実験（材料実験）**　半月ほど軌道飛行，無人実験の成果品は再突入カプセルで地上回収する衛星。無人のプラットフォームや衛星は人為的な振動が少なく，実験のためのすぐれた微小重力環境をあたえる。ロシアのフォトン衛星の原型は，ガガーリンが世界ではじめて宇宙飛行したボストーク宇宙船である。フォトン，リザルスはアメリカやヨーロッパの企業の宇宙実験をさかんに請け負い，ミールの外国人宇宙飛行士搭乗とともにロシアの貴重な外貨獲得源である。中国もこの分野で後を追っている。アメリカはこの分野での活動をむしろ民間のイニシアチブにかけている。日本もドイツと協力して国際衛星計画を進めている。

●**回収衛星実験（生物実験）**　サルやネズミ，昆虫などの生物を乗せての衛星実験。バイオサットは2年ごと。NASAはじめ外国参加実験が多い。

●**弾道小型ロケット実験**　シャトルやミール上での実験の予備実験として小型弾道ロケットによる実験も各国でさかん。小さな宇宙企業の活動分野。

シャトル搭載の小型実験室「スペースハブ」

シャトルに搭載中の「IML-1」モジュール

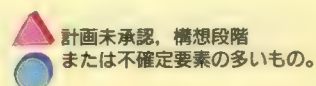
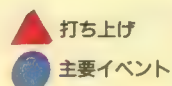
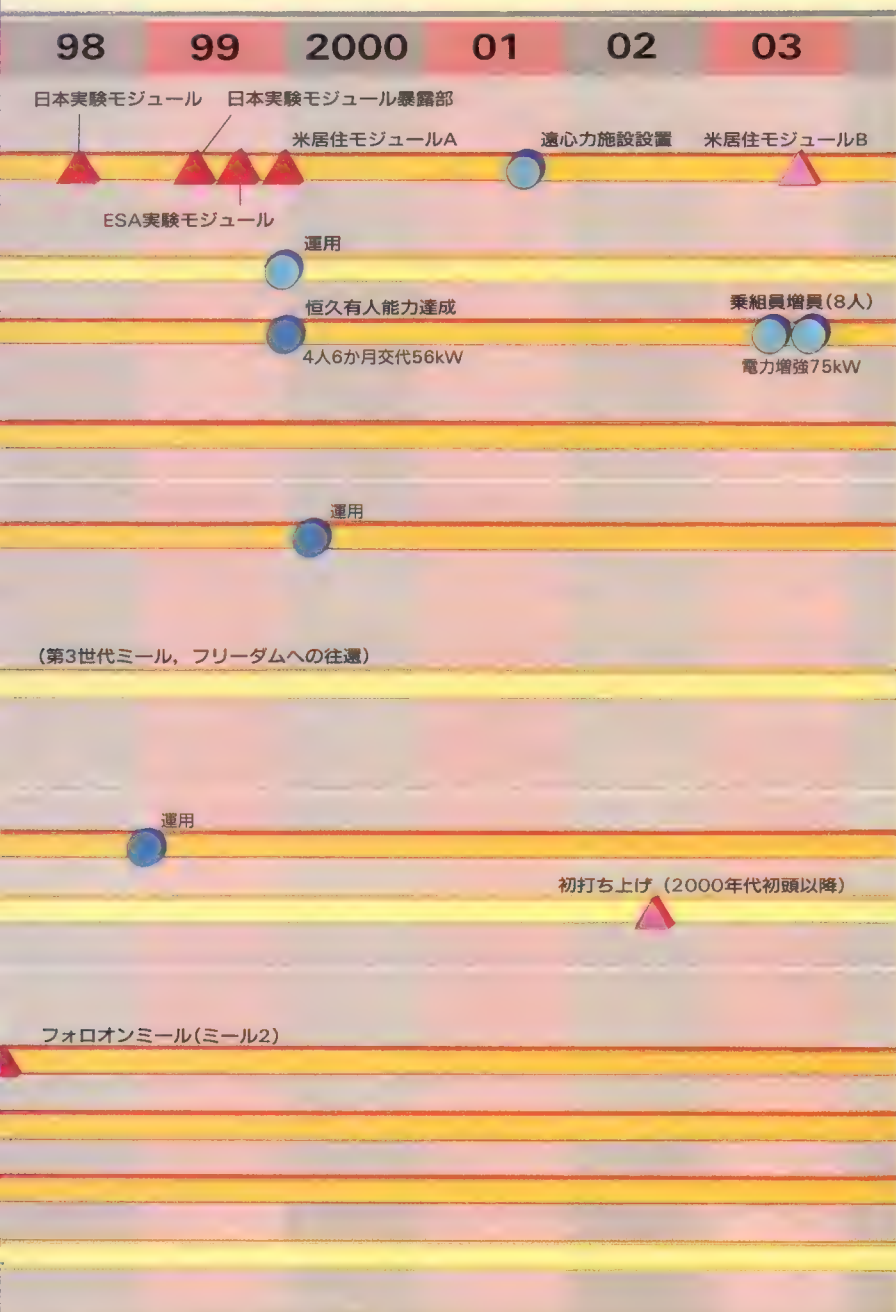
フリーダム建設の準備が各国で進んでいる。

		1991	92	93	94	95	96	97
アメリカ	国際宇宙ステーションフリーダム（米，欧，日，加）					ステーション要素初打ち上げ	米実験モジュールA	
	乗組員緊急帰還ビークル（ACRV）開発			開発着手（代替案：ロシアソユーズTM利用検討）				
	フリーダム運用						有人支援能力達成 4人13日間ミッション 3回／年 電力22kW	
	スペースシャトル運行		16日間飛行機能付加			固体ブースタ性能向上		
ヨーロッパ	フリーダムESA実験モジュール開発・運用	開発						
	ヘルメスミニシャトル開発		計画見直し（92.11.）					
			ロシアと有人宇宙機共同スタディ			有人宇宙機共同開発決定？		
	コロンバス宇宙ステーション		計画凍結（92.11.）					
日本	フリーダム日本モジュール（JEM）開発・運用	開発						
	ホープ（無人宇宙往還機）研究				軌道再突入機実験			
ロシア（CIS）	ミール宇宙ステーション運用	常駐2人6か月交代・外国人など短期チーム来訪		プリローダ環境監視モジュール結合		米スペースシャトル接続		
	ソユーズTM有人宇宙船運用	交代乗組員・短期チーム輸送						
	プログレス無人補給船運用	ミール補給2か月ごと運行						
	ロシアスペースシャトル開発			無人シャトル，ミール接続				

国際宇宙ステーション「フリーダム」

フリーダムの日本の実験モジュール「JEM」

フリーダム内の居住モジュールの一部

アメリカの呼びかけの下，ヨーロッパ，日本，カナダが参加する宇宙ステーション「フリーダム」計画は，1995年の建設開始に向けて準備が進められている。ばく大なコスト面での障害を，ロシア(CIS)などとの国際協力によって克服しようとしている。ロシアのステーション「ミール」は現在も稼働中，アメリカのシャトルとミールとの交換搭乗も予定されている。

●国際宇宙ステーションフリーダム　フリーダム計画は，アメリカ，ヨーロッパ，日本，カナダ参加のこれまでで最大の宇宙国際協力計画。シャトルを使ったステーションの建設活動は1995年に開始。97年初頭にはシャトル訪問の際の宇宙実験が可能になり，2000年には4人の乗組員が6か月交代で常駐，本格運用に入る。アメリカが実験・居住モジュールに加えステーション全体の構造体を建設。日本とヨーロッパが実験モジュールを一つずつ，カナダはステーション建設や運用作業用に，精密宇宙クレーンともいうべきマニピュレーター(移動サービスシステム)を提供する。ステーションの完成は新しい宇宙時代の幕あけとなる。

●フリーダムESA実験モジュール運用　シャトルのスペースラブはもともとヨーロッパ製。有人宇宙実験モジュールの開発はヨーロッパにとってお手のもの。

●ヘルメス，コロンバス宇宙ステーション　ヨーロッパは21世紀はじめを実現目標にヨーロッパ独自の宇宙ステーション「コロンバス」，有人ミニシャトル「ヘルメス」開発の準備を進めてきた。しかし両計画はドイツなどESA加盟各国の財政事情から今秋大幅な計画見直しを予定。本誌発売のころには結果が出ているはずである。当面はロシアから包括的なコンサルタント支援を受けて，ヨーロッパ有人宇宙技術の基盤を固める意向である。

●JEM開発・運用　フリーダムの日本の実験モジュール「JEM」に与圧実験室のほか，宇宙空間に暴露(ばくろ)したマニピュレーターつきの観測実験機構をつけ加える。

●ホープ研究　無人宇宙往還機ホープは3トンの補給品をJEMに運び，実験成果品など1.5トンを地球に持ち帰る。ただし完成は2000年以降になる。

●ロシアの宇宙ステーション　ミールは1986年に居住・管制用の基幹モジュールを打ち上げ，その後3個の実験モジュールが結合，88年末には連続366日の宇宙長期滞在記録が達成された。日本の秋山さんのあと，イギリス，オーストリア，ドイツ，フランスの宇宙飛行士が連続来訪し，実験を実施。アメリカとロシアの宇宙飛行士のミール・シャトル交換搭乗，シャトルのミール結合も2〜3年以内に実現する。90年代後半にはミール2が登場する。

ロシア (CIS) の宇宙ステーション「ミール」

地球軌道をこえ, 人類は月と火星をめざす。

		1991	92	93	94	95	96	97	98
アメリカ	月探査先駆ミッション ●月有人探査					月資源探査機（LRM）	月地形探査機（LGS）	月重力マッパ	
	火星有人飛行準備 ●先駆無人衛星		マースオブザーバー						
	●計画展開	ミッションシナリオ詳細化・先端システム開発							
	関連技術開発研究	閉鎖環境生命維持システム，耐放射線保護，軌道上大規模組み立て，自動ランデブー・ドッキング，空力ブレーキング，惑星資源処理など							
	宇宙インフラストラクチャー整備 ●重量級ロケット（HLLV）開発								
ロシア（CIS）	火星調査ミッション				火星94		火星96		火星98

月・火星有人探査シナリオ例（スタッフォード委員会）

	1999	2000	01	02	03	04	05	06	07	08
火星有人科学探査に焦点（火星探査前に月面探査・火星機器テスト）					先端火星移動車		有人月探査開始（月面科学探査）			
恒久月面基地建設・火星有人探査		月周回機群		先端火星移動車		有人月探査開始			（基地建設・	

月面での有人活動想像図

NASAの火星探査機「マースオブザーバー」

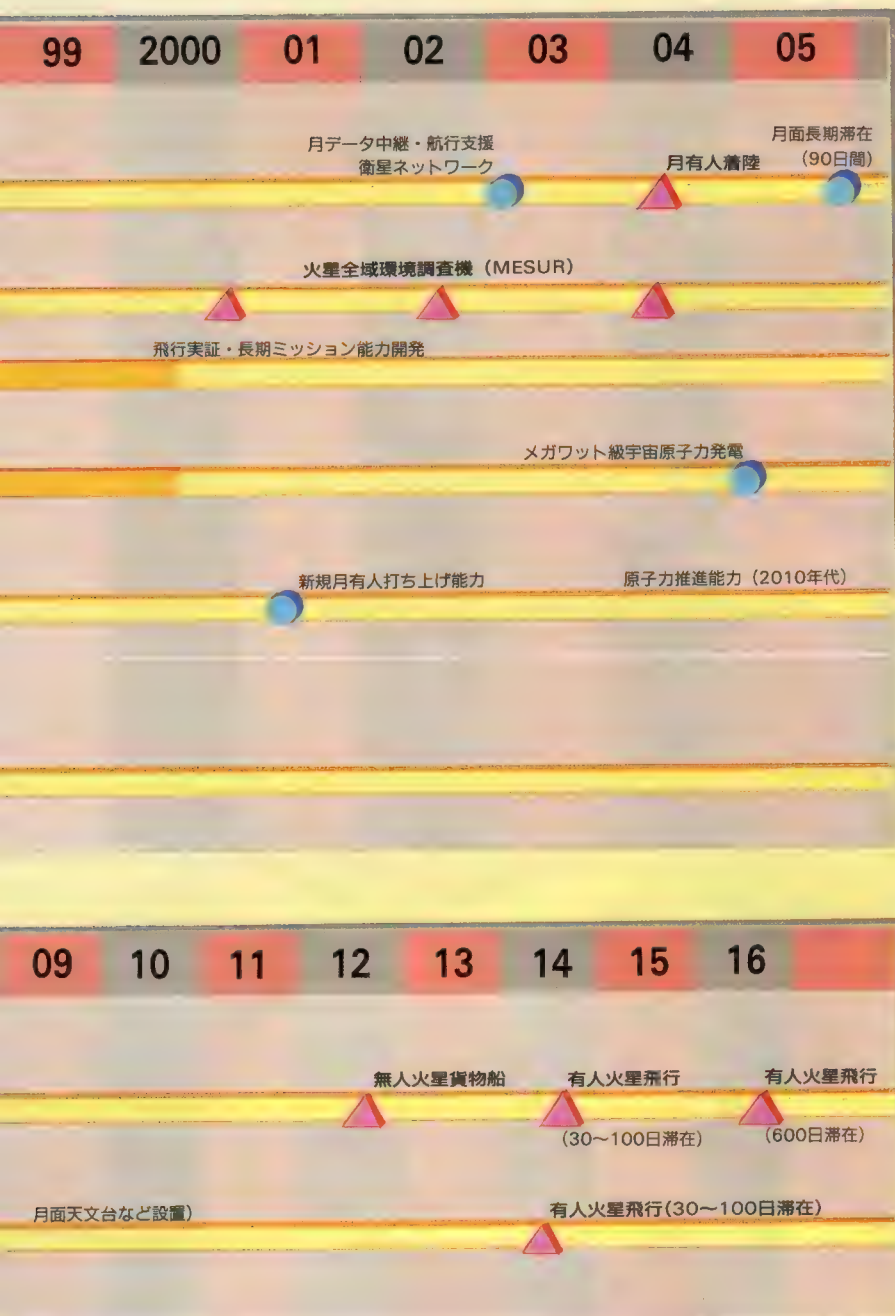
ロシア（CIS）の火星探査計画「火星94」

「月への帰還」「2019年までにアメリカ人を火星に」。21世紀にアメリカは，月と火星へ人類を送りこもうとしている。有人飛行の前段階として，いくつかの無人探査機が月や火星に送られる。地球軌道の外に人類を送るには，まだ多くのブレイクスルー（技術突破）が必要だが，21世紀の大航海が現実となる日はそう遠いことではないだろう。

99 2000 01 02 03 04 05

月データ中継・航行支援衛星ネットワーク
月有人着陸
月面長期滞在（90日間）
火星全域環境調査機（MESUR）
飛行実証・長期ミッション能力開発
メガワット級宇宙原子力発電
新規月有人打ち上げ能力
原子力推進能力（2010年代）

09 10 11 12 13 14 15 16

無人火星貨物船
有人火星飛行（30～100日滞在）
有人火星飛行（600日滞在）
月面天文台など設置）
有人火星飛行(30～100日滞在)

●月探査先駆ミッション，月有人探査　21世紀最初のアメリカの宇宙活動目標は「月への帰還」である。その先がけとして，月面の資源，地質調査，地形詳細調査のために1990年代後半から複数の探査機を打ち上げる。その後アポロの経験を生かし，発展させた形で有人着陸，調査，拠点建設活動に入る。NASA探査局のスタディが進行中。

●火星有人飛行準備　「2019年までにアメリカ人を火星に」。アポロ月着陸20周年の1989年夏のブッシュ大統領声明にもとづき，アメリカでは必要な要素技術の開発研究や種々のミッションシナリオづくりがNASAを中心に行われ，全米各層からのアイデア集めや意見収集なども実施された。

●関連技術開発研究　月・火星探査のためのNASAの計画は「宇宙探査構想（SEI）計画」とよばれる。高度な人工知能をもつ無人移動車（ローバー），先端宇宙服，エアロブレーキ方式の火星大気圏突入などから宇宙原子力推進ロケット，惑星居住技術までSEI計画実現のための要素技術開発研究課題は多い。

●宇宙インフラストラクチャー整備
月面有人科学探査や拠点基地建設には大型重量物を打ち上げできるロケットが必要である。NASA探査局は今夏，月面第1拠点（FLO）ミッションとよばれるシナリオスタディを終えた。そこではアポロ時代のサターンロケットの1.5倍の能力（地球軌道打ち上げ約200トン）をもったロケットが必要という。火星有人飛行には，原子力推進（熱核）ロケットの採用も考えられている。

●火星調査ミッション　ロシアの宇宙科学研究所が推進している火星94，火星96はヨーロッパやアメリカも観測機器提供や追跡支援でバックアップ。火星96で火星へ持ちこむ無人移動車のテストはアメリカ，カリフォルニアのデスバレーで実施。96ではフランスの気球も活躍する。

●月・火星有人探査シナリオ例（スタッフォード委員会）　アメリカの国家宇宙評議会（NSC）要請を受けて宇宙開発分野の識者で構成されたスタッフォード委員会が提示したミッションシナリオの一部。アメリカ国内の議論のたたき台にもなった。有人火星ミッションは，1000億ドルとも4000億ドルともいわれる巨費が必要。その全人類的意義からも，実現するときは地球規模で多くの国が参加した21世紀の大航海作戦になるだろう。

火星の大地に降り立った人類の想像図

Saturn
Neptune
Pluto
Department of the Interior
Geological Survey

特別インタビュー

「月の起源」解明をねらう日本の探査計画

水谷 仁 宇宙科学研究所教授に聞く

1997年は，日本の惑星科学にとって大きな転機をむかえる年になるかもしれない。この年に文部省宇宙科学研究所による月の探査計画が予定されているからである。その最大の目的は「月の起源」の解明である。この計画が成功すれば，日本ははじめて独自で収集した月のデータを手にすることができる。はたして日本の宇宙技術は，月の起源を解明することができるのだろうか。

Newton——今日は日本の月探査計画についてお話をうかがいたいと思います。まず現在の月の科学でわかっていることと，わかっていないことをご説明ください。

水谷——「アポロ計画」では11号からはじまって17号まで月の観測を行いました。それによって，月の表側と裏側とがちがうということ，望遠鏡でみると黒くみえる月の海の岩石と，白くみえる高地の岩石がどんなものかということがわかりました。それから地球に持ってきた岩石はいちばん若いものでも31億年ぐらい，古いものでは40億年ぐらいということもわかりました。

これらの結果から明らかになったことは，月が誕生時期には非常に熱かったこと，たぶん表面から深さ数百キロメートルぐらいまでがとけた「マグマオーシャン」となっていたということです。月が高温で生まれたということから，たぶんほかの惑星(わくせい)もはじめは高温だったと考えられます。

水谷 仁。文部省宇宙科学研究所惑星研究系教授。理学博士。1942年，岡山県出身。東京大学理学部物理学科卒業。名古屋大学で助教授，教授を勤めたのち1988年より現職となる。現在，水谷教授の下には多分野にわたる研究者が集まり，月探査計画の準備を進めている。主な研究テーマは惑星形成論，地球中心核形成論。

これがアポロ計画の最大の成果であり，これは現在でも月に関する最も重要な事実であると思います。

ここから先については，何もわかっていません。実際に高温起源ではあったけれども，いかにして高温がもたらされたかについてはわかっていません。月の起源についていくつかの説が考えられています。「兄弟説」「親子説」「他人説（捕獲説)」「巨大衝突説」といったもののうち，どれが真実に近いかを調べるのがこれからの重要な課題です。

Newton——そのためにはどうしたらよいのでしょうか。

水谷——月の起源を知るためにわれわれがどうしても必要だと考えているのが，月の中身の構造がどうなっているかということです。アポロ計画で持ち帰った月の岩石の分析により，月の表面の物質の組成はわかりました。しかし月全体の材料がどんなものかはわかっていません。月全体の材料がわからないと，月はどうやってできたかはわかりません。それを調べるのがこれから行われるミッションの重要な課題の一つだろうと思っています。

こうしたところから探査をはじめようというのが，日本の月探査のもともとの考えです。

Newton——月の内部のことをもっと調べたいということで

すね。では，現在進められている探査計画についてお聞かせください。

コアの有無が月の起源を左右する。

水谷――日本の月探査は1997年に打ち上げの予定で計画が進んでいます。「LUNAR-A（ルナー）」とよばれる探査機の重さは520キログラム程度になる予定です。探査機を打ち上げて，まず月のまわりをまわします。それは高度250キロメートルぐらいの周回軌道をとります。そこから「ペネトレーター」というやり形をした観測装置を3台，月面に打ちこむ予定です。月の表側に2台，裏側に1台です。ペネトレーターには地震計と熱流量計が搭載（とうさい）されています。そのほかにも小さいものがのせられますが，主なものはこの二つです。地震計は月の地震を観測し，熱流量計は月の内部の熱流量を観測します。寿命はおよそ1年と考えています。

Newton――地震計ではどんなことを調べるのですか。

水谷――月にはいろんなタイプの地震があるのですが，われわれが主に調べたいのは月の「深発地震」というものです。だいたい500～1000キロメートルの深さで発生している地震です。深発地震を調べるとなぜよいかというと，波の形が非常に一定しているからです。アポロ計画での観測によって，100個ぐらいの震源があるということが知られています。

それぞれの震源からはすべてちがった波が出るので，波をみればだいたいどこの震源かがわかります。ですから表側の1か所で地震を観測することで，どこでおきたのかがわかり，あとの2か所の地震計のデータを月の内部構造を知るために使うことができます。かなりのデータが集められるでしょう。

Newton――そのデータから具体的には何がわかるのでしょうか。

水谷――われわれが知りたいのは，月の中心に地球のような中心核（コア）があるかどうかということです。それがなぜ重要かというと，金属鉄がどれくらい月に含まれているかという非常に大きな問題につながるからです。

月の表面の岩石には親鉄性元素というタイプが非常に少ないことがわかっています。もしコアがなければ，もともとの月の材料には親鉄性元素が少なかったということになります。コアがあるとすれば，もともとの材料には地球と同じ程度に親鉄性元素があったということになります。コアの有無によって月の材料物質ががらっとかわってくるのです。ですから金属鉄でできたコアがあるかどうかは非常に大きな問題で，これが解決されれば，月の材料物質の性質がかなりわかります。

Newton――熱流量計のデータからは何がわかりますか。

水谷――熱流量からは月の揮発性元素，難揮発性元素の存在がわかります。それによってマグマオーシャンをつくった熱源やその後の月の熱的歴史がわかるでしょう。これらの結果によって，月の起源のシナリオはかなりしぼられてくると思っています。

月の内部構造の想像図。月の中心にコアはあるのか？　これは月の起源を決めるうえでの重要な問題の一つである。図のようにコアが存在する場合，月は地球と同じような物質でつくられたことになる。

1万Gの衝撃に耐えるペネトレーター

Newton――上空のLUNAR-Aはずっとまわっていて，ペネトレーターからの情報を中継するのですか。

水谷――はい。15日に1回LUNAR-Aがペネトレーターの上にきますので，そのときに15日分のデータをLUNAR-Aに送り，その後データは地球へ送られます。

Newton――LUNAR-A自体は何らかの観測をするのでしょうか。

水谷――決定しているわけではないのですが，カメラを積んで極地方の写真を撮り，地図をつくりたいと思っています。ただし重量がどれだけ軽いカメラができるかという問題があります。520キログラムの中にまだ全体がおさまっていないので，それをおさめる努力をしているところです。

Newton――ペネトレーターは実際にうまく月に刺さってくれるものなのでしょうか。

水谷――これまでに地上での実験を何回もくりかえしてい

ますので，ほとんど問題なく刺さると思います。
Newton——もぐりすぎてもだめなわけでしょうね。
水谷——もぐりすぎるのはほとんど問題ありません。しかしもぐらないのは困るのです。月の表面の温度は日中が100度C以上になりますし，真夜中にはマイナス100度Cぐらいになります。もぐらないで表面に出てしまいますと，温度が低いときにエレクトロニクスが動かなくなってしまいます。
Newton——何メートルぐらいもぐるのでしょう。
水谷——およそ1～3メートルの間になるだろうと考えています。
Newton——その程度でよいわけですね。
水谷——はい。衝突するときには1万Gぐらいの圧力がかかります。しかしそれにも耐えるということがわかってきましたので，ペネトレーターそのものはたぶん大丈夫だと思います。
Newton——ペネトレーターを実際に打ちこむ場所ですが，その地点は決まっているのでしょうか。
水谷——だいたい決まっています。条件はなるべく平らなところで，なるべく大きな石のないところです。
Newton——大きくいいますと，海の部分と高地の部分のどちらでしょう。
水谷——海の部分です。
Newton——そしてなるべく平らなところに打ちこむというわけですね。
水谷——そうです。アポロ12号，14号の着陸地点に近いところが1点，東の方で緯度が40度ぐらいの高いところに1点，そして12号の着陸地点のちょうど反対側にあたる月の裏側に1点です。
Newton——月の裏側には海があまりありませんね。
水谷——はい，ありません。ただ海とよばれてはいませんが，海と同じように溶岩流が出ているところにペネトレーターを投入します。
Newton——打ちだしたあと，ペネトレーターについている小型のロケットで微妙な調整はできるのでしょうか。
水谷——速度と姿勢の制御はできます。速度のほうはべらぼうに精度をよくする必要はありません。だいたい秒速250～300メートルの速度でぶつかればよいという条件ですので，比較的単純なんです。姿勢のほうはあまり傾いたりすると困りますので，精度はよくなければいけません。

アメリカも日本の技術に注目している。

Newton——月の内部構造がわかりますと，地球については

月の地中にもぐりこむ観測装置「ペネトレーター」。地震計と熱流量計をそなえ，この後約1年間にわたってデータを収集する予定である。

すでにわかっているので，われわれは太陽系の二つの天体の内部構造を知ることになるわけですね。そうしますと地球型のほかの惑星や衛星の内部についてもわかってくるのでしょうか。
水谷——どうですかね，それはむずかしいかもしれません。太陽系の天体は1個1個がかなり個性をもっていますから。ただ，地球の衛星のでき方がわかるということは，ほかの惑星の衛星も似たようなでき方であったということは考えられますね。月の構造がわかったからといってほかの衛星の構造がわかるというものではないかもしれませんが，衛星の起源についてはかなり一般的な問題としてとらえることができるようになるかもしれません。
Newton——他国にも月の探査計画はあるのでしょうか。
水谷——はい。日本に刺激されてかどうかはわかりませんが，アメリカでもやりたいといっています。いくつかの案がすでに出されていて，月探査はそのうちの一つです。リモートセンシングで月を調べるという案が一つあります。

それからJPL（ジェット推進研究所）の人が考えているのですが，日本でつくったペネトレーターをアメリカのロケットで運ぶという提案もあるようです。

Newton——リモートセンシングで集められるのは表面のデータですね。ペネトレーターで内部を観測するというのは，かなりユニークな方法に思えるのですが。

水谷——はい。しばらくの間はユニークでしょうね。リモートセンシングでは中身の構造や組成を調べるわけにはいきません。地震計を置きたいという要望がアメリカでもあるのですが，ペネトレーターがなければなかなかむずかしいと思います。

Newton——日本で開発したペネトレーターがNASA(アメリカ航空宇宙局）の計画で使われることになるのかもしれないですね。

水谷——はい。アメリカの人も使うことになるのではないかという話は，われわれの間でもしています。

Newton——今回はペネトレーターが3本ですね。ペネトレーターを打ちこむ場所がふえると，もっとくわしい観測ができるのでしょうか。

水谷——はい，そういうことです。なるべくならたくさんやりたいですね。アメリカがいっしょにできるとほんとうはよいのですけれど。計画が通るかどうか……。

「独自の惑星探査によって，日本の惑星科学はさらに面白くなる」と語る水谷教授。手にしているのは実験段階の「ペネトレーター」である。

次のターゲットは火星，金星，南極

Newton——この方法はたとえば火星などほかの天体にも使えるのでしょうか。

水谷——もちろん使うことができます。いま火星のことも考えています。

Newton——火星ではどんなことに興味をおもちですか。

水谷——火星でももちろん内部のことはほとんどわかっていません。慣性能率や平均比重などから推測すると，火星のコアは金属鉄の比較的小さいもの，あるいは硫黄（いおう）の入ったコアなら少し大きいものと考えられています。こうした条件つきの予測ならばある程度考えられています。硫黄が入っているコアかどうかが火星の成因については非常に大きな問題で，これはどうしても調べなくてはなりません。

火星の探査については，今アメリカでは比較的大きな研究プロジェクトで「メジャー」とよばれる計画が検討されています。ヨーロッパでは「マースネット」とよばれる同様な計画が進められています。これらの計画では着陸船みたいなものを使って地震計を置いて調べようとしています。われわれの宇宙科学研究所ではペネトレーターを使って国際的なネットワークをつくって調べるのがよいのではないかと考えています。火星の探査は西暦2000年に近いころに行われるプロジェクトではないでしょうか。

Newton——現在マゼラン探査機によって金星のデータがかなり入っています。おそらく金星には人間が行くことはしばらくありませんね。

水谷——ないでしょうね。

Newton——すると金星の内部を調べるには，ペネトレーターを使うような方法しかないのではないでしょうか。金星は温度が高いという問題がありますが。

水谷——金星も地震計による探査がどうしても必要ですね。ただし金星表面は500度C近くありますから，エレクトロニクスをその温度ではたらかすための特別のくふうが必要です。宇宙科学研究所の中でもグループをつくって高温エレクトロニクスの研究会というものをやっています。高温でも動くエレクトロニクスができれば，金星の探査も可能になると思いますが，500～600度Cで動くエレクトロニクスというものはまだありません。ですからそれができたころをねらって金星の探査は行われるのではないでしょうか。

Newton——旧ソ連のベネラ探査機が何度か降りていますが，あれは地震計のようなものは積んでいたのでしょうか。

水谷——それはありませんでした。

Newton——そうしますと，装置が高温で作動しなくなる前

「ペネトレーター」は全部で3台設置される。収集されたデータは，上空を周回する「LUNAR-A」を中継して地球へ送られる。月にコアがあれば，地震波はコアの境目で屈折する。この性質によって月の内部構造を探ることができる。

に大気の組成や温度などを調べたということですね。
水谷——そうですね。地震はそうたくさんはおきませんから，観測にはある程度の期間が必要になります。せめて1か月，できれば1年以上ということになると，それなりの技術が必要になります。金星の探査はぜひやらなくてはいけませんね。
Newton——そうしますと，ペネトレーターによる探査方法は今回だけで終わりませんね。
水谷——はい。ペネトレーターの方法はかなり応用性が広いものだと思っています。とくに効率のよい惑星探査をやるときには必須のものではないかという気がします。
　それからもちろん地球でも役に立つと思っています。人が行けないようなところへ安上がりに地震計を置いてくることができます。データは衛星で集めることができます。現在，南極にペネトレーターを並べて調査を行おうという計画を立てています。南極の地殻構造というのはよくわかっていないのです。
Newton——最後になりますが，日本の惑星科学や探査計画の将来や解決すべき問題，あるいは可能性などについてお聞かせください。
水谷——1992年の春，日本にも惑星科学学会というものができました。日本にも惑星を研究する研究者集団がかなりできつつありまして，これからが楽しみだと思っています。しかも現在では，日本でも独自の惑星探査ができる段階にきています。これまではアメリカや旧ソ連のデータをわれわれは利用してきたわけです。しかし今後は日本でも惑星のデータを自分でとることができる時代となります。惑星科学はさらに面白い学問になると思います。
　問題は何かというと，今まで日本はデータをもらってきてそれを解析する，あるいは理論的に研究するという部分でしか惑星科学は行われていませんでした。その部分の力はたしかについています。しかしこれからは装置をつくる人，衛星を設計する人，そういう人も必要なわけです。
　日本の大学全体にいえることですが，実験物理学という分野が非常に遅れています。計算機が好きな人はたくさんいるのですが，はんだごてをにぎる人がだんだん少なくなっていて，これはなんとかしなくてはいけないと思っています。ぜひこれからの若い人は自分で機械をつくる，自分でデータをとるという作業に面白さをみつけてもらいたいと思っています。そうでないと日本の惑星科学は進歩しないと思います。今までは受け身でもよかったのですが，これからは日本から世界にデータを発信しなくてはいけないという気がします。
Newton——どうもありがとうございました。

宇宙を計算しよう
地球から銀河宇宙へ――初級天文学入門
第2回

地球の質量を求めてみよう

祖父江義明
東京大学理学部教授

私たちが立っているこの巨大な球，地球はどれくらいの大きさでどれくらいの質量をもっているのだろうか。地上のはなれた2点からみた星の高度の差を使って，地球の半径を計算してみよう。さらにニュートンの「万有引力の法則」を使うと，月までの距離と月の速度をもとに地球の質量を計算することができる。月が地球におよぼしている潮汐現象を利用すると，逆に月の質量を求めることができる。シリーズ第2回では地球と月を計算してみよう。

地球の大きさを求めよう。

地球が無限に広がった平地ではなくて，丸いのだという ことはギリシア時代から知られていた。ギリシアから南方のエジプトに旅をした科学者が気がついた事実である。夏至(げし)の日の太陽の位置は，ギリシアでは真上にはこないのに，エジプトでは太陽の光が深い井戸の底に届くほど真上にきている。このことから地面が平らではなくて曲がっているということがわかる。

昔から船乗りの間では，水平線のかなたにはなれていく船は船体が先にかくれて最後にマストの先端が残るということが知られていた。このことからも海面が丸い，つまり地球は丸いはずだと思われていた。

現代ではもちろん人工衛星や月からみた丸い地球を疑う人はいない。では地球の半径をはかってみよう。

南北にはなれた二つの場所の距離をまず地図で調べる。見通しのきく山から山へ三角点の網がはりめぐらされていて，地上の距離は三角測量ではかられている。たとえば札幌(さっぽろ)と東京，あるいは札幌と鹿児島でもよい。その2地点の南北成分の距離を d としよう。さてこの2点で同じ星の南中高度をはかるとそれは同じではない。それぞれの場所での高度を h_1，h_2 としよう。するとその差，$\varDelta=h_2-h_1$ は星の高度の差であり，2点間の緯度の差になる。ここで角度 $\varDelta$ は「ラジアン（rad）」単位ではかるものとする。

ラジアンは今後もたびたび登場し，重要なので簡単に説明しておこう。度や分とはちがって円弧の長さで角度をあらわす単位がラジアンである。半径1の円の上にある円弧の長さ，たとえば a がそのままラジアン単位の角度 a ラジアンとなる。半径が L になると，この円の上にあって a ラジアンの円弧の長さは

$$\text{円弧}=a\times L \quad\cdots\cdots(1)$$

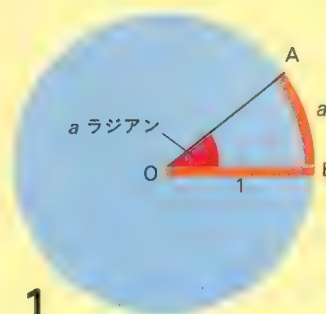
となる。
また度とラジアンの換算式は

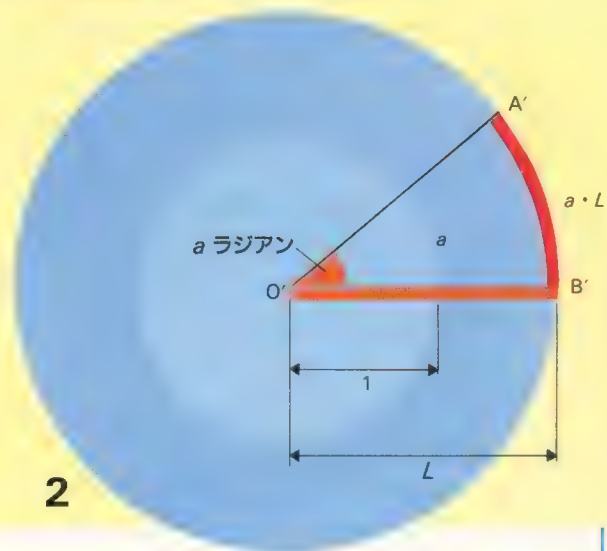
$$\text{rad}=\frac{2\pi}{360}\times\text{度}$$

である。
すると地球の半径 R は，(1) 式から $d=R\cdot\varDelta$ だから

$$R=\frac{d}{\varDelta}$$

で求めることができる。

もっと簡単に地球の半径を求める方法もある。長さの単位メートルは，もともと赤道のまわりの地球の円周を4万キロメートルと定義して決められた。そこで地球の半径 R は，$2\pi R=40000$ だから

ラジアンを覚えよう。

円弧の長さで角度をあらわすのがラジアンである。半径1の円上の弧ABの長さが a だとすると，∠AOBは a ラジアンとなる(1)。半径が L の円になると(2)，∠A′O′B′でつくられる弧A′B′の長さは，$a \times L$ となる。

$$R=\frac{40000}{2\pi}\fallingdotseq 6370\text{km}$$

なんのことはない。私たちの生活の長さの尺度は，地球の大きさをもとにはかられているのだ。

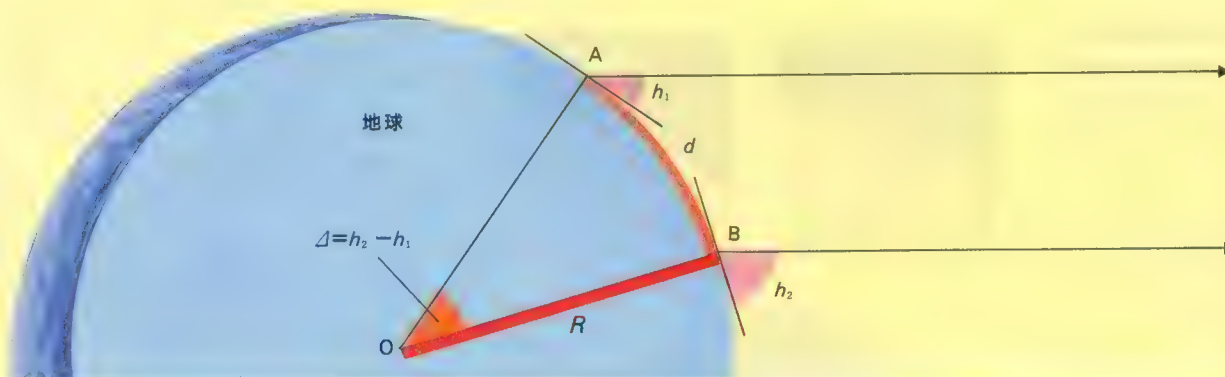
月までの距離を求める。

次に月までの距離を求めてみよう。月までの距離は三角測量ではかる。地上で距離 d だけはなれた2点から月の写真を撮る。月の近くに映っている星Sと月の一点，たとえば一つのクレーターの間の角度をはかる。星と星の間の角度は星図をみると出ているので，それをもとに星Sとクレーターとの角度を求めよう。この角度は地上の2点からの測定でことなるので，その差を Δ ラジアンとしよう。すると月までの距離 r は(1)式から $d \fallingdotseq r\cdot\Delta$ だから

地球の半径を求める。

南北にはなれた地上の2点A，Bから同一の星の高度をはかり，それを h_1，h_2 とする。h_1 と h_2 の差 Δ は，∠AOBと等しい。AB間の距離 d を地図で調べておく。すると(1)式から $d=R\cdot\Delta$ だから

$$R=\frac{d}{\Delta}$$

で地球の半径 R を求めることができる。

$$r \fallingdotseq \frac{d}{\Delta}$$

で求めることができる。

外国に友だちがいれば協力して望遠鏡で月の写真を撮り，いっしょに映っている星とクレーターの角度をはかり，その差から月までの距離を求めてみよう。ただし月は動いているので，同時に撮らないとだめだから注意しよう。

月までの距離を求めるもっと直接的な方法もある。地球から電波やレーザーを出して，月で反射して返ってくる時間をはかるやり方である。光の到達時間 t に光速度 c をかけて求めればよい。「アポロ計画」によって，月には光を元きた方向に反射する反射鏡が何枚も置いてある。

月に当たったレーザー光が反射して返ってくるまでの時間は約 2.56 秒である。したがって光はその半分，1.28 秒かかって月まで届く。そこで月までの距離 r は

$$\begin{aligned} r &= c \times t \\ &= 300000 \times 1.28 \\ &= 384000\text{km} \end{aligned}$$

月までの距離は正確には 38 万 4400 キロである。

月までの距離がわかると今度は月の半径を求めることができる。月の見かけの半径は約 16 分角である。そこで月の半径 R は，16 分角をラジアン換算して（1）式を使い

$$\begin{aligned} R &\fallingdotseq r \times \frac{16}{60} \times \frac{2\pi}{360} \\ &\fallingdotseq \frac{384400 \times 16 \times 2\pi}{60 \times 360} \\ &\fallingdotseq 1790\text{km} \end{aligned}$$

となる。地球の半径は 6370 キロだったから，月の半径は地球の約 4 分の 1 であることがわかる。

地球の質量はどれくらいだろうか？

月は万有引力によって地球に引っぱられながら地球のまわりをめぐる衛星である。そこで月までの距離と月の速度，そして「万有引力の法則」を使うと，私たちが立っているこの地球の質量を求めることができる。

ここでニュートンの万有引力の法則を説明しよう。宇宙では万有引力の法則がなりたっている。質量 M の天体のまわりを，M にくらべて十分小さい質量 m の別の天体が，距離 r のところをまわっているとしよう。M と m の間にはたらく引力は

$$\text{引力} = G\frac{Mm}{r^2}$$

これがニュートンの万有引力の法則である。G は万有引力定数で $6.7 \times 10^{-11}\ \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$ である。万有引力は重力のことでもある。

この法則を使うと天体 M の質量を求めることができる。簡単にするために天体 m の運動は円運動だとしよう。天体 m が円軌道を保つためには，天体にかかる遠心力と引力がつり合っていなければならない。遠心力は

$$\text{遠心力} = mr\omega^2$$

である。ω は「角速度」といい，天体 m の速度を v とすると

$$\omega = \frac{v}{r}$$

となる。そこで

$$\begin{aligned} \text{遠心力} &= mr\left(\frac{v}{r}\right)^2 \\ &= \frac{mv^2}{r} \end{aligned}$$

となり，この遠心力が引力とつり合うのだから

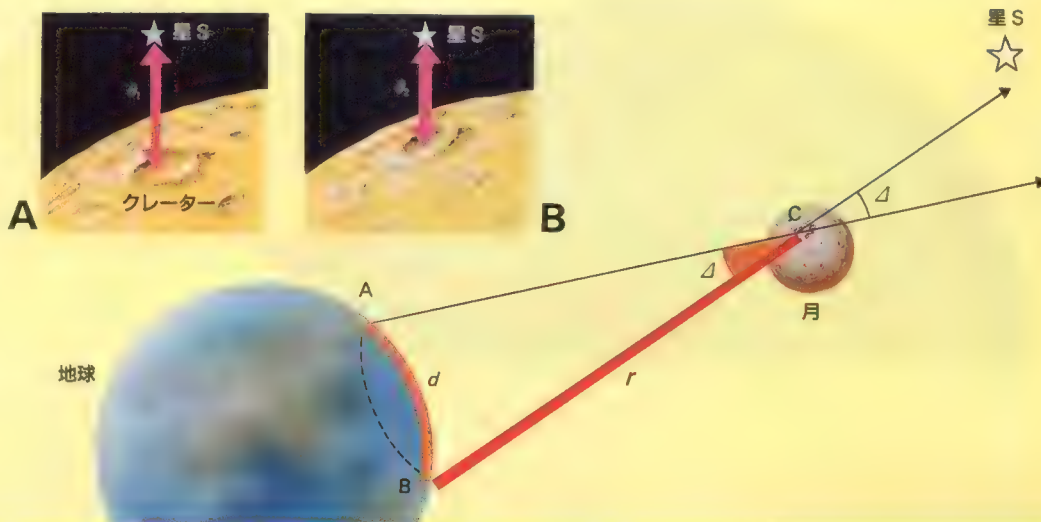
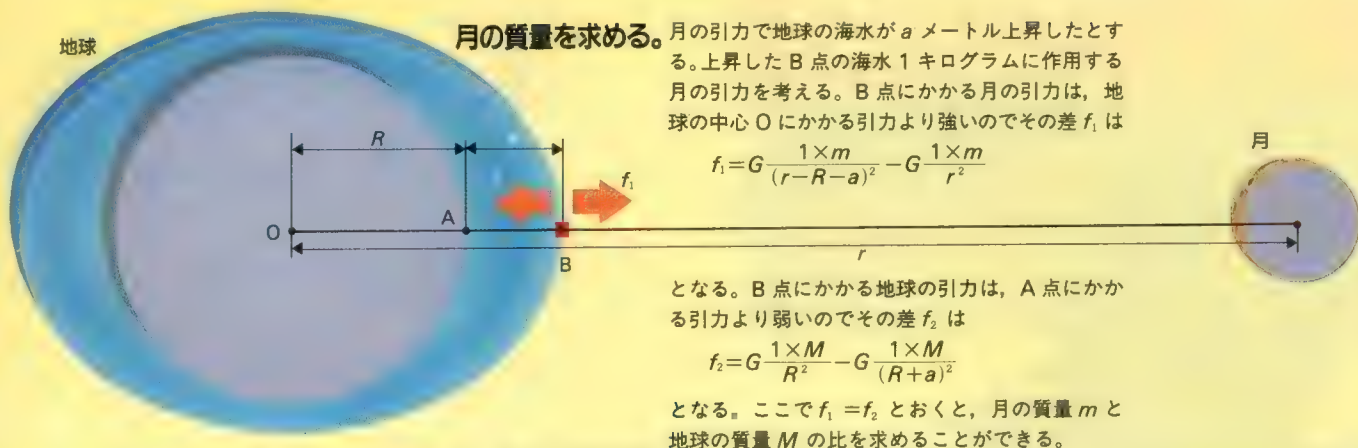
$$\frac{mv^2}{r} = G\frac{Mm}{r^2}$$

よって

$$M = \frac{rv^2}{G} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(2)}$$

月までの距離を求める。
地上の 2 点 A，B から月の同じクレーターの写真を撮る。月の近くに映っている星 S とクレーターとの角度をそれぞれ調べ，θ_1，θ_2 とする。θ_1 と θ_2 の差 Δ は，地上の 2 点 A，B から月のクレーターをみた ∠ACB に等しい。(1)式から $d \fallingdotseq r \cdot \Delta$ だから

$$r \fallingdotseq \frac{d}{\Delta}$$

で月の距離 r を求めることができる。

となる。この式を使うと，月までの距離がわかっているので，あとは月の速度を調べれば地球の質量がわかる。

月は約 27.3 日で地球のまわりを 1 周している。そこで月の速度 v は，27.3 日を秒換算して

$$v=\frac{2\pi\times 384400}{27.3\times 24\times 60\times 60}$$

$$\fallingdotseq 1.02\text{km／s}$$

だから，地球の質量 M は (2) 式を使って

$$M=\frac{384400\times 10^3\times(1.02\times 10^3)^2}{6.7\times 10^{-11}}$$

$$\fallingdotseq 6\times 10^{24}\text{kg}=6\times 10^{21}\text{トン}$$

となる。人の命は地球より重いという。君の命は 6×10^{21} トン，すなわち 1 兆トンのさらに 60 億倍よりも重い？

地球の平均密度（比重）は質量を体積で割ればよい。

$$\text{平均密度}=M\div\frac{(4\pi\times 6370^3)}{3}$$

$$=\frac{6\times 10^{24}\times 3}{4\pi\times 6370^3}$$

$$\fallingdotseq 5.5\text{g／cm}^3$$

となり，地球はずしっと重い石ころと同じくらいの密度をもつ。地球のしんのほうは，比重 7.9 の鉄や 8.9 のニッケル，地殻は比重 2.3 のケイ素や，2.3 の炭素，1.6 の酸素などの化合物からなる。さらに地球の表面は比重 1.0 の水でできていて，平均すると比重 5.5 となるのである。

月の質量を求めてみよう。

次に月の質量を求めよう。月の質量は，月が地球におよぼす引力の強さを知れば求めることができる。ここで地球が月の影響でゆがむ現象を利用する。つまり海面を上下させる「潮汐力（ちょうせき）」が，月の質量にかかわってくるわけである。

月の引力で海面が a メートルだけ持ち上がったと考えよう。海水 1 キログラムへの月の引力を考える。地球と月の距離を r，地球の半径を R，月の質量を m，地球の質量を M とすると，月が地球の中心におよぼす引力より海水には強い引力がかかっているから，その差 f_1 は

$$f_1=G\frac{1\times m}{(r-R-a)^2}-G\frac{1\times m}{r^2}$$

となる。今度は同じ海水 1 キログラムへの地球の引力を考える。それは地球の表面にかかる引力より小さいから，その差 f_2 は

$$f_2=G\frac{1\times M}{R^2}-G\frac{1\times M}{(R+a)^2}$$

となる。f_1 と f_2 がつり合って海面は上昇しているのだから，$f_1=f_2$ で

$$G\frac{1\times m}{(r-R-a)^2}-G\frac{1\times m}{r^2}=G\frac{1\times M}{R^2}-G\frac{1\times M}{(R+a)^2}$$

$$\frac{m}{(r-R-a)^2}-\frac{m}{r^2}=\frac{M}{R^2}-\frac{M}{(R+a)^2}$$

計算すると

$$\frac{m(2r-R-a)(R+a)}{r^2(r-R-a)^2}=\frac{aM(2R+a)}{R^2(R+a)^2}$$

となり，r にくらべて a や R は十分小さいので近似計算をすると

$$\frac{2rRm}{r^4}\sim\frac{2aRM}{R^4}$$

$$\therefore\quad m\sim\frac{ar^3}{R^4}M$$

となる。a を 50 センチとすると，

$$m\sim\frac{0.5\times(384400\times 1000)^3}{(6370\times 1000)^4}M$$

$$\sim 0.017M$$

が得られる。実際にはもっと正確な方法で

$$m=0.012M$$

であることがわかっている。

12月の星物語

王女を連れ

原 恵 青山学院大学教授

ゼウスが変身した白い雄牛とたわむれる王女エウロペ

「王女よ！ 私と楽しく暮らそう」

地中海の東岸に沿った地方は，古代にはフェニキアとよばれ，航海術にすぐれた人々が住んでいた。その国の王アゲノルの娘エウロペは，輝くばかりの美しい少女であった。近隣諸国の若者たちは，なんとかしてエウロペの愛を得ようとしていた。

あるときエウロペは，侍女(じじょ)たちといっしょに海辺を散策していた。天上からその姿をみた大神ゼウスは，たちまち彼女に魅(み)せられてしまった。しかし，妻ヘラの目が光っているので，おおっぴらには出かけられない。そこで全身が真っ白な毛におおわれた大きな雄牛に姿をかえた。

突然あらわれたゼウスの雄牛をみて，エウロペはおどろいたが，そのやさしい表情にひかれ，しだいに牛に近づいていった。しばらくの間，雄牛は草の上でじゃれたり，はねまわったりしていた。エウロペはすっかり安心して，牛の背にもたれかかったり，首をなでてやったりしていた。そのうち牛の背にまたがってみた。

そのチャンスをうかがっていたゼウスの雄牛は，そろそろと立ち上がり，海の中へ泳ぎだした。

「私をどこへ連れていくの！」

エウロペは雄牛の角をつかんで叫んだ。雄牛は沖へと泳ぎながら，人の声

去るゼウスの化身，おうし座

でやさしく答えた。

「私はゼウス，世界の支配者だ。こわがることはない。これから，この海を渡ってクレタ島へ行き，楽しく暮らそうではないか」

一方，フェニキアの王宮は大さわぎであった。王女は海に消えてしまい，その行方(ゆくえ)はわからない。

「一刻も早く王女をさがしだせ！」

アゲノル王はきびしく命じた。しかしエウロペをさがしだすことはできなかった。

やがてエウロペはクレタ島でゼウスの妻になっているといううわさが伝えられてきた。彼女はゼウスとの間に3人の子をもうけた。一説では，ゼウスの雄牛はのちにエウロペの名がつくヨーロッパ大陸に行ったともいわれる。

このゼウスの雄牛がおうし座で，牛の後半身は海の中にあってみえない。

おうし座。ヒヤデス星団がVの字をえがく。

おうし座をさがしてみよう。

おうし座は黄道上にかかっている星座で，今月の宵(よい)には東から東南東の中天にみられる。

このあたりには，全天でも最も明るい星が集まっている。真東に向かって立つと，やや南にオリオン座が大きく左に傾き，中央の三つ星が縦一文字に並んでいる。三つ星の左方には，ルビー色の1等星ベテルギウスが，右方には青白色の1等星リゲルが位置し，対照的な色合いをみせている。

ベテルギウスからまっすぐ目を上げていくと，色も明るさもよく似た1等星に至る。これが，おうし座のアルファ星アルデバランである。アルデバランのまわりをよくみると，数個の星が「V」の字をつくっていることがわかる。この星の集まりは「ヒヤデス星団」とよばれ，雄牛の顔にあたる。アルデバランは雄牛の右目に輝く。

Vの字の先を左下方に延長したところには，2等のベータ星と3等のゼータ星がくる。これらの星は牛の角の先にあたる。ヒヤデス星団から15度ほど上をみると，数個の星が小さくかたまってまたたいている。これが「プレアデス星団」で，雄牛の肩先にあたる。

日本では古くから，プレアデス星団を「すばる」とよんできた。その名は「統(す)ばる」に由来するといわれ，星が

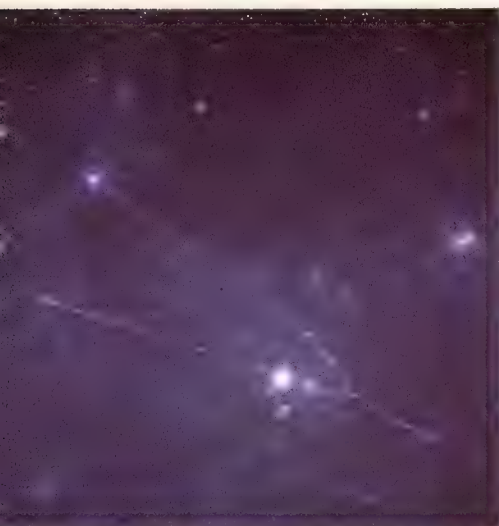
12月中旬午後8時のおうし座

首飾りのようにまとまった印象からつけられたようである。東日本では，肉眼でみえる星の数から，「六連星(むつらぼし)」とよばれていた。

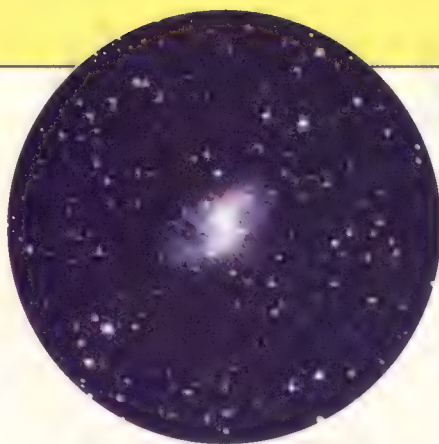
大晦日(おおみそか)の夜，午後9時ごろに星空を見上げると，ほぼ頭上にプレアデス星団がみえる。双眼鏡を向けると，多数の青白い星のまわりをガス星雲が取り囲み，宝石に薄いベールがかかったようで，実に美しい。

プレアデス星団の星たちは，今から数千万年前に生まれた非常に若い星で，星の母体となった星雲が残っている。これに対してヒヤデス星団は，やや老齢な星たちの集まりである。

平安時代に爆発したかに星雲

かに星雲M1。1054年に超新星爆発が観測された星の残がいが，今も膨張をつづけている。

おうし座の右の角にあたるゼータ星のすぐ上に望遠鏡を向けると，光度9等の星雲が見分けられる。この星雲は，フランスの天文学者シャルル・メシエによって1758年に記録されたものである。

彼は星雲・星団など約100個のカタログをつくり，Mナンバーをつけた。その第1号がこの星雲M1であった。M1は望遠鏡では蟹(かに)の甲羅(こうら)のような形にみえることから，「かに星雲」ともよばれる。

今世紀のはじめ，M1が少しずつ膨張(ぼうちょう)していることが写真測定からわかった。膨張速度を逆にさかのぼっていくと，膨張がはじまったのは11世紀ごろと推定される。つまり，そのころ星の大爆発「超新星爆発」がおきたと考えられた。

この超新星爆発は地上でみえなかったのだろうか。鎌倉時代前期の歌人藤原定家(ふじわらのていか)は，その日記『明月記(めいげつき)』の中に，次のような古記録をしるしている。

「天喜(てんぎ)2（1054）年4月中旬以後，客星(かくせい)——天関星(てんかんせい)に孛(はい)し，大いさ歳星(さいせい)のごとし」

天関とはおうし座ゼータ星付近の領域をさす中国の呼び名である。このあたりに，歳星つまり木星ほどの明るさの，客星つまり見なれない星がみえたというのである。

第二次世界大戦前，この『明月記』の引用が英訳され，アメリカの天文誌に紹介された。客星の出現はかに星雲の位置にほぼ一致し，膨張開始の年代も同じころであることから，研究者たちの注目を浴びた。

中国の古記録にも，この客星の出現が見いだされた。こうして1054年におうし座でみられた超新星爆発の残がいが，M1としてみえていることが明らかになった。

欠けながら昇る部分日食

今年最後の天体ショーは，12月24日の朝にみられる部分日食である。

今度の日食は北の地方ほど欠け方が大きい。欠ける割合（最大食分）は，札幌(さっぽろ)で66％（午前8時49分），東京では54％(8時38分)，福岡では42％(8時25分)である。九州各地では，日の出とほぼ同時に日食がはじまり，北へ行くほどはじまりが遅くなる。南の地方から食が終わり，北海道でも10時半近くには日食が終了する。

今回の日食は食分が大きくないので，気づかない人も多いことだろう。それだけに，観察するときに目を痛めないよう十分に注意する必要がある。太陽の明るさは平常とほとんどかわらないからである。肉眼で観察するときには，白黒フィルムを感光させて現像した真っ黒なフィルムを通してみる。カラーフィルムの先端にできる黒い部分は赤外線を通すので，安心できない。望遠鏡の付属部品として市販されている，太陽観測用のサングラスを使うとよいだろう。

望遠鏡で観測するときには，直接みるのではなく，接眼部のうしろに白い紙を置き，それに太陽像を投影させるようにする。食の最大のころには，木(こ)もれ日が地上につくる太陽の像も欠けた形になる。白い紙を地面に置くと，いっそうよくわかる。これは，葉と葉のすき間がピンホール（針穴）のはたらきをし，カメラのように像を映しているためである。

月の満ち欠け（午後8時の位置）

12月 2 日 ◐ 上弦
12月10日 ○ 満月
12月17日 ◑ 下弦
12月24日 ● 新月

星雲 ○ 1等星
星団 ○ 2等星
銀河 ○ 3等星
○ 4等星
⊙ 変光星

12月 1 日 午後9：00
12月15日 午後8：00
12月30日 午後7：00

南の空をみるときは
星図の南を下にして，
南の方向を向く。

12月の星ごよみ

10日 **部分月食**が夜明け前におきる。北海道西部と中国地方以西でみられるが，まもなく沈んでしまう。

13日 **火星**と月が並ぶ。1993年1月3日の地球最接近に向かって，火星はしだいに明るくなる。

冬至。昼の時間が最も短くなり，太陽の南中高度は最も低くなる。

部分日食が，各地でみられる。日の出後まもなく欠けはじめ，2時間ほど日食をみることができる。

金星が細い月と西の空で並ぶ。金星はこれから宵の明星(みょうじょう)として明るく輝く。

GEOGRAPHIC

ボリビア

緯度の上では熱帯圏にあるボリビアは，高度のちがいによって極熱から極寒に至るあらゆる気候がみられる。15世紀にインディオがやってくるよりもはるか以前に，チチカカ湖近くのティアワナコではインディオの巨石文化が発達していた。長いスペイン統治時代ののちシモン・ボリバルの下で独立を果たした。しかしその後の政情や経済の混乱によって不安定な状態がつづいている。国民の大多数がインディオの血をひいているため，生活の中にはインディオの伝統が今でも息づいている。

アンデス山脈中のオリエンタル山脈のふもとに広がるアルチプラノとよばれる高原。アルチプラノはボリビアの国土の約7分の1を占める。冷たい風の吹きすさぶ荒涼としたこの地域に，人々は独自の農業を発展させてきた。

インディオの伝統を伝える アンデス山中の鉱産国

竹内 均

ボリビア南西部のオルロ，ポトシ両州にまたがる広大なウユニ塩原。塩分の多い湿地帯で，低地にわずかの水面を残し，大部分は湿地や塩分の皮殻におおわれている。ボリビアの人は切りだした塩を調味料とするほか，れんがにまぜて使うこともある。

ティアワナコ郊外に広がるアルチプラノでのヒツジの放牧風景。空気の薄い不毛の荒野であっても，インディオたちにとって高原ははなれることのでき

ない故郷である。

ボリビアの地質は，内陸から太平洋側に進むにしたがい年代が若くなっている。

ボリビアの首都ラパス（憲法上はスクレ）は南緯約 16.5 度にある。ボリビアの面積は約 110 万平方キロメートル，人口は 719 万人である。北から東へかけてはブラジル，西はペルーとチリ，南はアルゼンチンとパラグアイに接している。東から西へ向けて順にオリエンテ低地帯，アンデスの山麓地帯，東部山脈と中部山脈，アルチプラノ高原および西部山脈が配列している。

オリエンテ低地帯はブラジル盾状地の一部である。今から約 5 億 8000 万年前以前の先カンブリア時代の岩石からなり，浸食によってヨーロッパの騎士が持つ盾のように平らになった地形が盾状地である。地球表面での最も古い部分をあらわす。東部山脈は古生代の岩石からなり，西部山脈には今から約 170 万年前以後の第四紀の火山もある。この西部山脈がチリとの国境をなしている。ボリビアは東から西へ向けてその年代が若くなっている。これは大陸の成長を物語るものである。

南アメリカ大陸の太平洋沖を「ペルー海溝」「チリ海溝」とよばれる深い海の部分が走っており，そのまた西を東太平洋海膨とよばれる海底山脈が走っている。それらはほぼ南北に走っている。東太平洋海膨へ向けて，地球内部のマントルからマントル対流の高温部が上がってきて，そこで向きを水平に転じて東西へ向かう。そのうちの東へ向かった部分は，ペルーおよびチリ海溝から地球内部へ向けてもぐりこむ。このためにチリやボリビアの下では，東へ行くほどより深いところで地震がおきる。海溝からもぐりこんだマントル対流は，地下の高温と摩擦熱によって高温となり，その一部がとけて溶岩となる。これが地表へあらわれて活火山をつくる。ボリビアの西部山脈にみられる活火山はこのようにしてできたものである。ボリビアが全体として高原になっているのは，海溝からもぐりこんだマントル対流がその上にある部分を持ち上げているからである。

降水量が少ないため，アルチプラノ高原にポーポ湖のような塩水湖ができる。

緯度からみると，ボリビア全土は熱帯圏にある。しかし高度のちがいによって，ボリビアでは極熱から極寒へ至るあらゆる気候がみられる。オリエンテ低地帯を含むボリビアの東部および北部の高さ 1800 メートル以下の低地と谷の部分は，年降水量が約 1000 ミリメートルで湿度が高く，一年を通じて雨が降る。平均気温は約 25 度 C であり，変化が

少ない。高さ約1800～3000メートルは亜熱帯気候，3000～3500メートルは温帯気候，3500～4000メートルよりやや上まではアルチプラノ（高原）気候，4000～5400メートルにある雪線までは寒帯気候，それより上は極地気候である。低地は熱帯林で，温帯気候の部分では穀物(こくもつ)や野菜，アルチプラノではジャガイモやオオムギなどが栽培され，寒帯地域には牧羊者や鉱夫だけが住む。

アルチプラノの高さは約3700メートル，長さは約830キロメートル，幅は約140キロメートルである。東西の山脈にくらべて陥没(かんぼつ)した地形となっている。高原の表面は東西の山脈から運ばれた堆積物(たいせき)でおおわれている。アルチプラノの気温は低く，平均気温は約10度Cである。12～3月にかけて南半球の夏は雨季であるが，降水量は少ない。このためにアルチプラノには，ポーポ湖のような塩水湖ができている。

ボリビアの水系は北流するアマゾンの水系，南流するラプラタの水系およびチチカカ湖に注ぐ内陸水系の三つである。チチカカ湖は高さ3812メートルのところにあり，汽船が航行できる湖としては世界で最も高い場所にある。アンデス山脈から流れでてチチカカ湖へ注ぎこんだ水は，川となって南へ流れだし，ポーポ湖に注ぎこみそこで蒸発してしまう。そのためポーポ湖には塩分が蓄積されて天然の塩田ができる。ボリビアの人たちはこの塩を切りだし，それを調味料として使う。「ロドペ」という日干しれんがをつくるときにも，塩を少し入れる。そうすることによってれんがが丈夫になり，またその色が白くなるのである。

ボリビアの原住民はインディオ(アメリカインディアン)である。彼らはモンゴロイド（黄色人種）であり，今から約2万5000年前から，当時は陸つづきだったベーリング海峡をこえ，アジア大陸北部から北アメリカ大陸北部へ移動した。今から約1万年前以前はヴュルム氷期とよばれる氷期であり，そのころの気温は現在よりも5～10度C低く，海水面も100メートル以上も低かった。気温が低いと海水の一部が氷となって陸上へ移るために，海水面がそれだけ下がるのである。今から約1万年前のヴュルム氷期の氷がとけたころ，インディオたちは約1000年をかけて北アメリ

カ大陸の北端から南アメリカ大陸の南端まで移動した。その一部がボリビアへもやってきたのである。

チチカカ湖の近くにあるティアワナコには，巨石記念物が多数存在している。

13世紀ごろから16世紀のなかばへかけて，ペルーを中心として栄えたインディオの帝国がインカ帝国である。15世紀にボリビアへやってきたそのインカ族が，チチカカ湖の近くで見いだした廃虚がティアワナコのそれである。これから約1世紀後にはペルーを征服したスペイン人がここへやってきた。彼らはこの土地に住むインディオが幾何学的な形をした巨像の前にささげ物をしているのを見いだした。ささげ物をしているインディオ自身も，この巨像をつくったのがだれであるかを知らなかった。彼らはただ創造神ビラコチアについての次のような伝説だけをスペイン人に語った。

宇宙のすべてがまだ暗やみに閉ざされていたころ，「コン・チキ・ビラコチア（ひげをたくわえた白人）」がチチカカ湖にあらわれ，やがてティアワナコへやってきた。ここで彼は太陽，月，星，泉，川，洞くつ，山をつくり，石像をつくってこれを人間にかえた。神殿をつくって人々を教えみちびいたあとで，ビラコチアは海岸地方へ去り，やがてそこから船出して西方の海へと去った。いつの日にか，彼はもう一度ここへもどってくるはずである。

20世紀に入ってティアワナコが調査され，このあたりに建築物や石像などの巨石記念物が多数存在することがわかった。ティアワナコの代表的な建造物としては「太陽の門」「アカパナのピラミッド」「カラササヤ」「石棺の宮殿」「プーマプンク（ピューマの門）」などがある。アカパナのピラミッドはその基底部が約210メートル平方で，高さが約15メートルのピラミッドである。その北西にあるカラササヤは二つの辺が約180メートルと約135メートルの長方形の基壇であり，そのまわりは大きい石板と小さい石のブロックで固められている。基壇の下には半地下式の神殿がうずもれていた。この神殿には屋根がなく，内壁のところどころに神官らしい人物の頭像や頭蓋骨の石像がはめこまれていた。カラササヤの内部からは，高さ3メートルの巨大な石像が発見された。

カラササヤの西のすみには安山岩の一枚岩をくりぬいてつくった有名な「太陽の門」がある。この正面の上部の中心にはつえを持ったビラコチアの神像が彫られている。「石棺の宮殿」はカラササヤの西にある約30メートル平方の区域である。それは屋根を支えたものと思われる壁と多数の部屋からなる。「プーマプンク」とよばれる区域には多数の切り石が散乱している。その中には100トンをこえる巨石もある。切り石の中には深く切りこんだ溝をもったものがある。この溝の部分をたくみに使って切り石を組み合わせ，巨大な石壁をつくっていったものと思われる。プーマプンクでみつかったチャチャプーマ（ピューマ人間）の像は高さ約1メートルで，ピューマの顔をした人間が右手にこん棒を持ち，左手に人間の首をつるしている。

ピューマ（プーマ）は南北アメリカに生息するライオンに似た動物である。ティアワナコに住んでいた人たちはピューマやジャガーに対する血なまぐさい信仰や儀式をもっていたと考えられる。太陽の門に彫られたビラコチア像も，人間の形をしてはいるけれども，その頭部はピューマやジャガーを様式化したものである。ただしその頭から太陽の光線と似た放射が出ていることから，それはネコ神と太陽神が融合したものともいわれる。これと神殿から象牙のようにみがかれた頭蓋骨が発見されたことなどから，ティアワナコで残忍な人身御供が行われたことは確かである。

太平洋のイースター島には，ティアワナコのものと似た巨大な石像がある。

ティアワナコで使われた石の供給地が，ここから100～300キロメートルはなれた地点であることが確かめられている。このように遠い地点から，100トンをこえる巨石をどのようにして運んだのであろうか。現在このあたりのインディオは，幾層ものアシを湖に浮かべて浮き島をつくり，その上で生活している。かつてそのアシのいかだに巨石を積んでチチカカ湖を利用する水上輸送がなされたと考えられる。現在のティアワナコは湖から数キロメートルはなれている

チチカカ湖から南へ数キロのティアワナコに残るカラササヤ神殿。昔は太陽観測所としても使用されていた。1世紀ごろ，アイマラ族はここに人口10万の聖都を建設したといわれる。

ユンガス地方の中心地，コチャバンバの農村で開かれる市。定期市が立つと，女たちは白いシルクハット型の帽子をかぶって集まってくる。

けれども，巨石を運んだころの湖の面積は現在よりも大きく，そのころのティアワナコは湖のほとりにあったともされている。

太平洋の東南部にあるイースター島には，ティアワナコのものと似た巨大な石像がある。この石像やそれをつくったポリネシア人について，ノルウェーの考古学者トール・ヘイエルダールは次のような考えを展開している。イースター島の巨大な石像をつくったのは，もともとはボリビアやチリに住んでいたインディオであった。彼らは巨大な石像をつくる技術や，すでにのべたアシのいかだをつくる技術をもっていた。彼らはペルーから船出して，太平洋を東から西へと進み，太平洋の全域に広がった。これがポリネシア人の祖先であり，イースター島の石像をつくったのも彼らである。

この考えを裏づけるかのように，ペルーからフンボルト海流に乗って北上すると，やがて赤道海流に出会う。赤道海流は東から西へ向けて流れている。この赤道海流に乗って，彼らはイースター島を含む太平洋の島々へ流れ着いたのであろう。すでにのべたビラコチアのように，ボリビアやチリやメキシコには，西の海へ消えた神々の伝説が残っている。

この考えを実証しようと考えたヘイエルダールは，バルサの丸太でつくったインカ式のいかだ「コンチキ号」をつくり，1947年にペルーのカヤオ港から出帆し，101日かかって7000キロメートルもの距離を漂流(ひょうりゅう)し，無事にツワモツ諸島へたどり着いた。コンチキ号による漂流のすばらしさにもかかわらず，南アメリカを船出して太平洋を東から西へ向かった人たちがポリネシア人の先祖であるとするヘイエルダールの考えは，今では誤りとされている。しかしティアワナコの巨大な石像建築物や石像はこういう問題ともかかわりをもっているのである。

ボリビアという国名は，独立の父シモン・ボリバルにちなんで名づけられた。

1532年にフランシスコ・ピサロ（1476～1541）にひきいられたスペイン人がペルーのクスコに入城し，インカ帝国を滅ぼした。1535年には当時上部ペルーとよばれていたボリビアへスペイン人が侵入し，1545年にポトシの銀山を発

実際上の首都，ラパスのハエン通り。バルコニーのついた屋根がわらの家が並び，その向こうの急斜面を家々がびっしり埋めつくしている。ラパスは首都としては世界で最も高いところにあり，起伏もはげしい。

見した。ここから出る銀はスペインを豊かにしたけれども，ボリビアにはなんの恩恵をもあたえなかった。1808年にはじまったナポレオンのスペイン干渉によって，スペイン系アメリカ諸国の独立運動の口火が切られた。1821年にはアルゼンチン生まれのホセ・ド・サン・マルティン(1778～1850)がリマを攻略してペルーの独立を宣言し，1822年には後事をシモン・ボリバル（1783～1830）に託してアルゼンチンへもどった。このころになってもなおスペインは上部ペルー（ボリビア）を支配していた。1825年になってようやくボリバルとアントニオ・ホセ・ド・スクレ将軍（1795～1830）が上部ペルーを解放し，ボリビア共和国が発足した。

ボリビアが独立した当時の面積は現在の2倍以上だった。しかしその後近隣諸国との戦いに敗れ，現在の面積に落ち着いた。1879～1884年には太平洋岸でとれる肥料の原料であるグアノ（海鳥の糞）と硝石とをめぐり，ペルーとともにチリを相手として戦った。この戦いに敗れたボリビアは，グアノと硝石と銅を失っただけでなく，太平洋への出口までもなくした。1903年には天然ゴムの産地をブラジルへゆずり渡し，1932～1935年には油田をめぐってパラグアイと争い，チャコ地方をパラグアイにゆずった。

たび重なるこのようなボリビアの敗北の原因は政情不安である。新しい大統領が，9か月に1人誕生するといわれたほどである。1967年にはアルゼンチン生まれのキューバの革命家エルネスト・チェ・ゲバラ（1928～1967）が，南アメリカ大陸に革命を波及しようとしてボリビアへ入国し，ゲリラ活動中に戦死した。みるべき業績を上げた大統領としてはビクトル・パス・エステンソロ（1907～　）があげられる。1952～1956年と1960～1964年に大統領を務めた彼は，南アメリカではじめて『農地改革法』を発布し，インディオに選挙権をあたえ，すず鉱山を国有化した。

ボリビアという国名は，ボリビア独立の父で初代大統領を務めたシモン・ボリバルにちなんだものである。ボリバルはベネズエラのスペイン系の名門に生まれた。幼いときに両親を亡くしたけれども，遺産によってスペインその他のヨーロッパ諸国を旅行し，自由主義思想や革命思想の洗礼を受けた。1802年にスペイン貴族の娘マリア・ロドリゲスとマドリードで結婚し，ベネズエラへもどった。その直後にマリアが病死し，心の傷をいやすためにふたたびヨー

ロッパへ出かけたボリバルは，ここでスペイン領アメリカの独立をめざす秘密結社に入った。1807年にベネズエラへもどった彼は1819年にコロンビアを独立させて大統領となり，1821年にベネズエラを，22年にエクアドルを解放した。24年には南アメリカ大陸に残っていた最後のスペイン軍をペルーで破り，1825年にはボリビアを独立させた。ボリバルは，独立したばかりの南アメリカ諸国の連帯を呼びかけたけれども失敗し，コロンビアのサンタマルタで失意のうちに世を去った。

行政と立法の機関があるラパスは，世界で最も高い場所にある首都である。

ボリビアの首都は憲法上はアンデス山脈中のスクレである。しかしそこは交通の便も悪く，大きな産業もない。スペイン人がなぜこういう場所を首都に選んだのか，それが不思議に思われるほどである。それだけに昔のままの面影が残っており，1624年に創設された大学や同時代のサンミゲル寺院などが見ものである。

大統領官邸や国会議事堂など，行政と立法の機関があるラパスは，ボリビアの実際上の首都である。アルチプラノ高原の東の縁にあり，チチカカ湖の東南端にあるといってもよい。スペインの統治時代には，ポトシ鉱山と副王庁のあるリマとを結ぶ要地として栄えた。世界で最も高い場所にある首都であり，空港は約4050メートルの高さにある。このためにペルーのリマからやってくる国際線のジェット機も，着陸のときにそれほど高度を下げなくてよい。高山病にかかる人のために，緊急用の酸素ボンベを置いているホテルもあるほどである。高度の低いところに高級住宅地があり，高いところにスラム街がある。近くでとれるすず，タングステン，アンチモン，鉛，銀などの鉱産物，アルチプラノ高原でとれるジャガイモや羊毛，およびアンデスの東北斜面のユンガス地方でとれるサトウキビ，コーヒー，コカなどの集散地である。

チチカカ湖はボリビアとペルーとの国境にあり，総面積8372平方キロメートルの半分以上がペルー領である。ボリビア側へ向けて深くなっており，平均の深さは約107メートルである。ケチュア族やアイマラ族の遺跡はボリビア側に集中している。チチカカ湖にはインカの財宝が眠っているとされる「太陽の島」や，「太陽の乙女(おとめ)たち」の宮殿跡がある「月の島」などがある。これらの遺跡や近くにあるティアワナコの遺跡をつくったケチュア族やアイマラ族の子孫はこのあたりに住み，アシのいかだの上で暮らしたり，

ラパスの南東約15キロに位置する月の谷。標高約3200メートルのところに奇岩が林立している。乾燥して白茶けた土地には草木もなく，月面を想像させるためこの名でよばれている。

コカの葉をかみながらリャマの番をしたりしている。

ラパスから東へ向けて行くと，ケチュア語で「乾いた谷」を意味するユンガス地方へ入る。その中心はボリビアで第二の大都市であるコチャバンバを含むコチャバンバ盆地である。比較的おだやかな気候に恵まれているために，首都ラパスの避寒地として知られ，ここにセカンドハウスをもつラパスっ子も多い。適当な雨量に恵まれているために，コムギ，オオムギ，トウモロコシ，ジャガイモ，カボチャ，ピーマンなどが豊富にとれ，これが首都ラパスや近くの鉱山町へ出荷される。トウモロコシを発酵させてつくるチチャとよばれる飲料は，コチャバンバのものが最高の味とされている。

鉱山の町ポトシの各地でみられる鉱夫の像。1545年に銀鉱脈の発見により開かれたこの町はスペインの統治下で栄え，一時は南アメリカ最大の都市となった。

スペイン統治時代に栄えたポトシで，銀以外の鉱物資源が最近発見された。

鉱山町ポトシは古都スクレの近くにある。スペイン統治時代には銀山として栄え，最盛時には人口が約15万人の大都市となった。かつての王立造幣(ぞうへい)局の建物の中には，スペイン金貨の刻印を押す機械がまだ使える状態で残っている。18世紀に建てられたサンロレンソ教会も残っている。このころの鉱夫たちの生活は悲惨(ひさん)であり，寒さや空腹をまぎらすために，少量の石灰をコカの葉にまぜて苦味をやわらげ，これをかむことによって空腹感と疲労感をまぎらした。銀の鉱脈がつきるとともに人々が去り，町はゴーストタウンとなった。しかし最近になって銀以外の鉱物資源がみつけられるようになり，ポトシに活気がよみがえってきた。

アンデス山脈をこえたところにサンタクルスがある。このあたりはもはやブラジルのマットグロッソ地方につながる雨の多い密林であり，経済的にも人々はブラジルに注目している。農産物の集散地であり，石油基地もある。サンタクルスとコチャバンバの中間のあたりにカミリの油田地帯があり，最近ではその産出量が輸出できるほどになってきたのである。サンタクルスの近くのサンファンには日本からの移民が住んでおり，トウモロコシ，サトウキビ，イネなどを栽培している。日本からの資金援助もあって，日本人の移住地はボリビア東部開発の見本とされている。

ボリビアの南端といってよいところにタリハがある。その南にある山をこえると，そこはもうアルゼンチンであり，大西洋にまでつづくパンパ（大草原）が広がっている。このためにタリハの人たちの目はボリビアならぬアルゼンチンへ注がれる。1807年には独立共和国を宣言して，スペインを怒らせたこともある。

ボリビアの人口構成はケチュア族やアイマラ族などのインディオ55％，メスティーソとよばれるスペイン人とインディオとの混血30％，スペイン人などの白人15％である。インディオには農夫，メスティーソには鉱夫，白人には商人が多い。ボリビア人のルーツはその服装でわかるといわれる。インディオは色彩豊かなポンチョを身につけ，手編みの帽子をかぶる。ポンチョは毛布状の小型の外衣である。メスティーソにもポンチョの愛用者が多いけれども，彼らが身につけるのは手織りならぬ機械織りである。

ボリビアの輸出の大部分は鉱産物である。ボリビアはマレーシアなどとともに世界有数のすず産出国である。かつては外国の会社がボリビアの鉱業を独占していたけれども，1952年に当時の大統領エステンソロが国有化した。その際に外国人技術者にかわるボリビア人がいなかったことや，すずの国際価格の低下によって，ボリビアの経済が大きな打撃を受けた。鉱産物の輸出と引き換えに工業化のための資本財から食糧までを輸入するのがボリビアの経済のしくみである。この状態を抜けだすには，農業をさかんにしなければならない。農村が貧しくては，せっかくの工業製品をつくっても，これが国内でさばききれないからである。ボリビアの国教はカトリックであるが，ほかの宗教も許されている。1952年の革命以後，教育の普及に努めているけれども，今なお識字率が低い。ボリビアの鉄道はブラジルおよびアルゼンチンに通じており，チリの自由港アントファガスタに通じている。

ヘンリー・ローリンソン

楔形文字の魅力にとりつかれたローリンソン。みずからベヒスタンの断崖によじのぼり，そこにきざまれた古代ペルシア語とバビロニア語の解読に成功した。著書『西アジア楔形文字』はその分野の基礎をなす名作である。

もり いずみ

ベヒスタン岩山のなぞの浮き彫りと碑文

ザーグロス山脈を横断して，イランの首都テヘランからイラクの首都バグダードへ抜ける重要な道がある。紀元前6世紀から前4世紀へかけて栄えたペルシアのアケメネス（アカイメネス）朝のころには，それは冬の王宮バビロンから夏の王宮エクバタナへ通じる道であった。この街道上の，イラン西部のケルマーンシャーに近い場所にビストゥンあるいはベヒスタンとよばれる岩山がある。昔はビーソトゥーンとよばれたこの山は，バガスターナすなわち「神々のいますところ」という意味である。この岩山の道から約100メートルの高さにある切り立った崖に，縦3メートル，横5.5メートルにおよぶ浮き彫りがほどこされ，それを囲むように楔形文字の碑文がきざまれている。いつのころからか，それはその下の道を往来する人々を見下ろしていた。

ベヒスタン岩山の浮き彫りと楔形文字

大浮き彫りには神と13人の人間がえがかれていた。中央よりやや左手に，いちだんと背の高い人物が左手で弓を持ち，左足で1人の人物を踏みつけている。そのうしろにはそれぞれ弓矢とやりを持った2人の人物がつきしたがっている。背の高い人物の右には，首を数珠つなぎにされ後ろ手にしばられた9人の男が，背の高い人物の方を向いて並んでいる。彼らの頭上には，ワシの翼をつけたリングに乗った人間として神がえがかれている。

このあたりを通ったヨーロッパ人旅行者によって，17世紀の末ごろから，大浮き彫りが絵つきで何度か紹介された。しかしそれがいつつくられたものであり，またどういう内容のものなのかはまったくわからなかった。

さまざまな想像がなされた。たとえばある人は，背の高い人物は紀元前9世紀のアッシリアとメディアの王シャルマネゼルであるとした。彼がイスラエルを征服し，イスラエルの10の部族の長をとらえたときの図であるというのである。ほかのある人は背の高い人物をキリストに見たて，これはキリストと十二使徒の絵であるとした。踏みつけられているのはキリストを売ったイスカリオテのユダであり，彼らの頭上には十字架がえがかれているとした。もっと俗っぽい解釈をする人もいた。たとえばあるイスラム教徒の学者は，「これは学校の絵であり，左の3人が先生で，残りはすべて生徒であるとした。できの悪い生徒を，先生がこらしめている図ということになる。

ローリンソンと楔形文字との出会い

この浮き彫りには3種類の楔形文字がきざまれていた。当時未解読だったこの文字を最初に解読したのはイギリスのヘンリー・ローリンソンである。彼は1810年にイギリスの田舎町チャドリングトンで，地方名士の子として生まれた。私立学校でラテン語やギリシア語を熱心に勉強した。これがのちの古代語研究に役立った。しかし彼は勉強よりも運動を好む活発な少年であった。そこで彼は1827年に東インド会社の士官としてインドへ赴任した。以後1849年に至るまでの22年間彼はインドにとどまった。

Sir Henry C.Rawlinson (1810~1895)

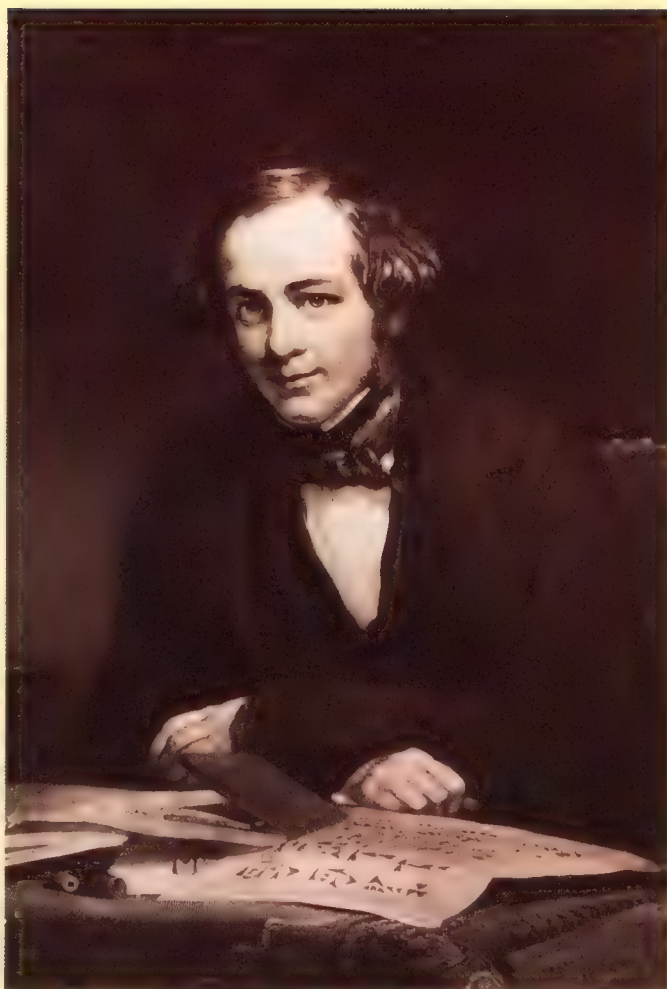
東インド会社は，インドとの貿易や植民地経営にあたるために，イギリスなどが1600年につくった会社である。インドに滞在中に，彼はボンベイの知事でオリエント学者のジョン・マルカム（1769～1833）にかわいがられ，彼からペルシア語，アラビア語，インド諸語を学んだ。これもまたのちの古代語研究に役立った。ボンベイで彼は軍務についた。体力が強くスポーツ好きな彼は大活躍をした。1838年から42年へかけてイギリスとアフガニスタンが戦った第一次アフガン戦争の際には，ペルシア人の騎兵隊をひきいて勇敢（ゆうかん）に戦った。

1833年にペルシアの軍事顧問（こもん）に任命されたローリンソンはケルマーンシャーへ向かった。その途中のハマダーンの近くのエルウェント山の岩壁に楔形文字が彫られているのをみて興味を覚え，それを筆写した。これがこの種の文字と彼との最初の出会いであった。ケルマーンシャーに着いた彼は，そこから約35キロメートルはなれた岩山に，エルウェントのそれとはくらべものにならないほどりっぱな楔形文字とレリーフが彫られていると聞いた。彼はその年のうちに2回，ウマに乗ってそこへ出かけた。これがベヒスタンの岩山であった。

アケメネス朝のほかの遺跡と同様に，ベヒスタンの碑文もまた3種の文字で書かれていた。高さをちがえて書かれたこれらの3種の文字がなんであるかは不明であった。のちにローリンソンたちの研究によって，それが明らかになったのである。それらは下に書かれたものから順に古代ペルシア語，エラム語，バビロニア語であった。それはともかく，このような3種類の文字を使って碑文を書いたことからも，アケメネス朝が多民族国家であったことがわかる。

古代ペルシア語とエラム語の解読に挑戦

ローリンソンはまず最も下に書かれた古代ペルシア語から研究をはじめた。幅約40センチメートルのはしごを運び上げ，突き出た岩壁にそれを立てかけ，その最上段に立って筆写した。左の腕で体を支えているので，左手にノートブック，右手に鉛筆を持って筆写した。

この古代ペルシア文字の解読は，すでにドイツのゲオルグ・グローテフェント（1775～1853）らによってかなり進んでいた。これより先にドイツのカルステン・ニーブール（1733～1815）は，デンマーク王の援助したアラビア探検隊に加わり，ペルセポリスの遺跡で3種類の楔形文字が使われていることを明らかにした。彼のアラビア旅行記は1774～1778年に出版された。それにのせられたペルセポリス碑文の写しがグローテフェントたちの解読に役立ったのである。

インドに赴任中，楔形文字の解読に魅せられたローリンソン。

これらの碑文には約40種の文字記号が使われていた。アルファベット文字としては字数が多すぎるので，それは日本のかな文字のような音節文字であると考えられ，まずその発音が研究された。古代ペルシア語はラテン語やギリシア語と同じインド・ヨーロッパ語であるから，発音がわかれば意味の解読も容易になる。グローテフェントたちの研究はこの方向にそってなされたものである。

ローリンソンは古代ペルシア語の部分をラテン語と英語に苦心して翻訳（ほんやく）した。それを「ベヒスタンにおけるペルシア語碑文」という論文にまとめ，1846年に『王立アジア協会』誌上で発表した。碑文の内容についてはあとでのべることにする。

古代ペルシア語の上に書かれたエラム語の部分を写すためには，はしごをさらに高い岩盤に移す必要があった。そこで彼はまずはしごを橋のように置いてそれを渡ろうとした。突然はしごの横木がはずれ，ものすごい音を立てながら落下していった。はしごの縦木にすがりついて，ローリ

ベヒスタン岩山の浮き彫りのまわりには3種類の楔形文字，古代ペルシア語，エラム語，バビロニア語がきざまれている。

ンソンは危機をまぬかれた。よく調べてみるとペルシア人がつくったはしごでは，横木を縦木の穴にさしこむだけで，それをくぎでとめていなかった。このため横木がはずれたのである。このあと改良したはしごを高い場所へ移し，エラム語の部分の筆写をすることができた。残りは最も上の段に彫られたバビロニア語の部分である。さすがのローリンソンも，この部分には手が出せなかった。

バビロニア語の解読にとりかかる

1847年にふたたびベヒスタンにやってきた彼は，望遠鏡を使って筆写してみたけれども，正確にはいかなかった。土地の人たちもこの危険な場所へ登ることをちゅうちょした。そこへクルド族の1人の少年がやってきて協力を申し出た。どうするのかとみていると，彼は岩の裂け目へ打ちこんだくいに綱を結びつけ，その綱で体を支えながら，はなれた岩壁に乗り移った。その岩壁をよじのぼってバビロニア文字の高さにまでたどり着いた彼は，綱とはしごで塗装工の使うつり台のようなものをつくった。その上で彼はローリンソンの指し図にしたがい，湿った紙を使ってバビロニア文字の拓本(たくほん)をつくった。

こうして碑文を写し終わったローリンソンは，バビロニア語の解読をはじめたのである。ところでその後，ニネベやニムルドで，フランスやイギリスの考古学者たちが楔形文字で書かれた多数の文書を発見した。それらの文書に使われていた楔形文字は，現在では「アッシリア楔形文字」とよばれている。これに対して，ベヒスタンでローリンソンが写し取った楔形文字は，「バビロニア楔形文字」とよばれた。実はこれがバビロニアならぬシュメール楔形文字であったことについてはあとでのべる。それまでは，この楔形文字やそれを使った言語をバビロニア楔形文字あるいはバビロニア語とよぶことにする。

1848年から翌年へかけて，ローリンソンはこのバビロニア文字で書かれた碑文の研究をした。おどろいたことに，この碑文では約300種の文字が使われていた。古代ペルシ

ア文字との比較によって，いくつかのバビロニア文字には何種類かの読み方があることもわかった。中国系の漢字を使うわれわれには，これはそれほどおどろくべきことではない。日本で日常的に使われているだけでも2000をこえる漢字があり，たとえば「上」のように「ジョウ，ウエ，カミ，アガル，ノボル」などのさまざまな読み方がされるものもある。しかしアルファベットは26文字で，古代ペルシア文字は約40文字であった。それらの読み方も単純である。したがってバビロニア文字の解読は，ローリンソンにとってはたやすいことではなかった。

ローリンソンは1849年にインドからイギリスへもどった。その翌年の50年から51年へかけて，彼はそれまでのバビロニア文字やバビロニア語についての研究をまとめて王立アジア協会誌に報告した。しかしそれまでに何人かの人へあてて，彼は「正直のところ，この研究を投げだしたいほどだ。満足できる結果がまるで得られないのだから」と書いている。

楔形文字コンテストで成功

ローリンソンがまだインドにいた1846年ごろから，王立アジア協会にいたノリスという友人が，アイルランド生まれの牧師エドワード・ヒンクス（1792〜1866）によるバビロニア文字の研究結果を，手紙でたえずローリンソンに知らせてくれた。それが彼の助けになった。ヒンクスによれば，バビロニア文字はアルファベットのような単音文字ではなくて，「子音＋母音」や「母音＋子音」のような単音の組み合わせをあらわす。なかにはこの両者を組み合わせた「子音＋母音＋子音」をあらわす文字もある。この意味でそれは日本のかな文字に似ている。バビロニア語にはまた「限定符」とよばれる表意文字がある。それは「神」「人間」「都市」などをあらわす文字であり，意味だけをあらわす符号であって発音しない。ノリスが手紙で知らせてくれた，こういったヒンクスの研究のポイントが，ローリンソンのバビロニア碑文解読に大いに役立ったのである。

こういうわけでバビロニア文字の解読は1850年ごろにはすでに成功していたといってよい。解読の成功を決定的にした出来事が1857年におきた。カロタイプ法という写真術の開拓者であるイギリスのウィリアム・タルボット（1800〜1877）は，楔形文字にも興味をもっていた。1855年にグラスゴーで開かれた学会に出席して，ローリンソンおよびフランスの楔形文字研究者であるジュール・オペール（1825〜1905）の報告を聞いた彼は，先にその名が出てきたローリンソンの友人で王立アジア協会の役員であるノリスに一

楔形文字がきざまれた粘土板の模刻（バビロニア北部で出土）

つの提案をした。「アッシリア・バビロニア楔形文字で書かれた一つのテキストを何人かの科学者に解読してもらい，それらを相互に比較する」ことである。そのテキストとして彼は，アッシリア王ティグラト・ピレゼル1世（在位紀元前1115〜前1077）の六角柱刻文を選んだ。未公開のこの刻文の自分自身による解読を密封して，タルボットは王立アジア協会に送った。

この提案は受け入れられ，ローリンソン，ヒンクスおよびオペールらがコンテストに参加することになった。送られてきた4人の訳文を比較する会が，1857年のある日に王立アジア協会で開かれた。4人の訳文は非常によく似ていた。ローリンソンとヒンクスのそれは細かい点まで一致していた。こうしてこの日がアッシリア・バビロニア文字解読の公の記念日となったのである。

ラガシュで発掘されたグデア王の像と楔形文字

ローリンソンが改訳したベヒスタン碑文には，それがダーラヤワウすなわちダリウス1世(在位紀元前522～前486)によって書かれたものであり，そのダリウス1世は，先王カンビセス2世のエジプト遠征中に王弟バルディアになりすまして王位についたマゴス僧ゴーマータを殺し，王位についたと書いてあった。レリーフの中でダリウス1世が足げにしているのは，このにせの王ゴーマータであり，数珠つなぎの9人はゴーマータを殺してダリウス1世が王位についたあとに，帝国内でおきた諸民族の反乱の主謀者(しゅぼうしゃ)たちであった。

アケメネス朝ペルシアを開いたのはキュロス2世（在位紀元前559～前529)で，カンビセス2世とバルディアはその子である。彼らに対してはダリウス1世は分家筋にあたる。分家の出でありながら本家をついだダリウス1世が，そのことにいささかのうしろめたさを感じ，それを正当化するために書いた碑文がベヒスタン碑文であったといってよい。歴史家の中には，カンビセス2世にしたがってエジプトへ遠征していたダリウス1世が，突然帰国して王弟バルディアを倒し，王位についたといっている人もいる。

ローリンソンは1851年にアッシリア・バビロニアの発掘に参加し，61年から84年へかけては，大英博物館所蔵のアッシリア関係の碑文を集めた『西アジア楔形文字』全5巻を出版した。のちに東インド会社重役，下院議員，ペルシア大使，インド政府高官をも歴任し，1895年にロンドンで亡くなった。

ベヒスタンの碑文はシュメール語？

ティグリス川とユーフラテス川の流域の地域をメソポタミアとよぶ。メソポタミアは「川の間の土地」という意味である。メソポタミアの上流すなわち北部と下流すなわち南部を，それぞれアッシリアおよびバビロニアとよび，これらの地域で使われた言語をそれぞれアッシリア語およびバビロニア語とよぶ。これらはいずれもセム語に属する言語である。

ところで1850年に，これまでの話にも出てきたヒンクスが，ベヒスタン碑文に使われているバビロニア楔形文字がバビロニア語を正確には表現できないことを明らかにした。たとえばこの楔形文字には，バビロニアに特有の喉音(こうおん)をあらわす文字がない。したがってそれをつくったのはバビロニア人ではないことになる。1869年にフランスのオペールは，これをつくったのはシュメール人であるといいだした。メソポタミア南部のバビロニアにあたる地域はまたシュメールともよばれる。バビロニア人以前にそこに住んでいたシュメール人が発明し，バビロニア人がそれを自分たちの言語をあらわすのに使った。これがバビロニア楔形文字ということになる。ベヒスタン碑文中の下から2段目に使われていた楔形文字はエラム語をあらわしていた。そのエラム語はシュメール語と同系統の言葉といわれている。

1877年にはフランス隊が古代都市ラガシュを，1889年にはアメリカのペンシルベニア大学調査隊が古代都市ニップールを発掘した。ラガシュからはセム系のアッシリア・バビロニア人とはちがう人たちをあらわす多数の浮き彫りや小像がみつかった。ニップールではシュメール文字で書かれた3万枚もの粘土板文書がみつかった。こうしてシュメール人の存在がほぼ確からしいものになった。しかしシュメール人やシュメール語がどういう系統の人であり言語であるかについては，まだよくわかっていない。

アースウォッチ Earth Watch

●地球環境ウォッチ

日本のトキはどんな運命を歩んできたか

柿澤亮三 山階鳥類研究所資料室長

中国産のトキどうしが飼育ゲージ内で繁殖し，ヒナが無事に育っているという明るいニュースが報道された。一方，人工繁殖を試みるために中国に渡っていた日本産トキの「ミドリ」は，すでに繁殖能力が失われていると判断されて，日本に送り返された。ミドリは日本産トキの最後の2羽のうちの1羽の雄である。

日本のトキの絶滅が危ぐされだしてから久しい。筆者は生物学的な見地から，トキはもうだめだろうと考えつつも，心のどこかではなんとか人工繁殖に成功してほしいと願っていた。それだけにミドリの繁殖が断念されたことはショックであった。ミドリは帰国後，佐渡にいる老齢の雌「キン」とともに余生をすごす。この2羽がいつまで生きるかを見届けることが，われわれの最後の仕事となってしまうのであろうか。

トキはコサギとダイサギの中間の大きさで，形はサギ類に似ているが，足はやや短く，全体にずんぐりしている。とき色という言葉があるように，風切羽(かざきりばね)や尾は少しオレンジ色がかった桃色で美しい。

『諸国産物帳』を研究した安田健博士によると，江戸時代中期のトキの分布は，北海道南部から九州まで，四国を除く各地に生息していたという。江戸時代後期の『武江産物誌』にはトキが千住（現在の東京都足立区）に生息しているとの記録もある。したがって江戸時代には，トキはそれほどめずらしい鳥ではなかったことが想像される。

タンチョウやコウノトリなど，日本の大型の水鳥たちが急速に姿を消しはじめるのは，明治時代になってからである。江戸時代には狩猟は制限されており，これが野生鳥獣を保護することにもなっていた。明治時代に野生動物が乱獲されるようになり，1892年（明治25）に狩猟法が制定された。しかしすでにタンチョウ，コウノトリ，トキはほとんど姿がみられなくなっていた。

その後トキは絶滅してしまったのではないかと考えられていた。しかし1926年に佐渡で生息が確認された。1934年には天然記念物に指定され，保護すべき動物となった。一方，1929年に石川県能登半島でもトキが確認されたが，能登のトキは1970年に滅んでしまった。佐渡のトキも減少の一途(いっと)をたどり，当初は100羽ぐらいと推測されたものが，1952年は24羽，1972年は13羽と年々減少した。

1967年に佐渡に新潟県トキ保護センターが開設された。動物園関係者による「トキの保護増殖に関する調査研究」など，多くの保護策も実施された。ヒナや卵を巣からとって人工飼育する試みが，トキの繁殖能力の低下により失敗した。ついに野生のトキすべてを捕獲飼育することが決まった。1981年1月，ミドリや「シロ」などの野生の5羽が無事つかまり，前から飼われていたキンと合わせて6羽が飼育されることになった。

すべてのトキの捕獲が決まった当時から，「トキをそのままにしておいたほうがよい」「どうせ滅んでいくものならば，最後は自然の中で」という声も聞かれた。しかしトキをそのままにしておいたら，確実に滅んでしまう。なんとかその生存の道を探ろうと努力してきた人たちを，今日の結果から非難することはだれにもできない。

日本のトキが「絶滅」するということは，ミドリとキンが死んでしまったときにおきることではない。絶滅の定義を「複数の個体が生存していても出産し，子供を産みだすことが不能の場合」と生物学的に考えると，日本のトキは今から20年前にすでに滅んでいたのかもしれない。中国に残された20～30羽のトキが今後どうなっていくかが，たいへん気がかりである。

雄の「ミドリ」（右）と今は亡き雌の「シロ」（左）。1982年11月撮影。

野生のフィリピンワシの親子。人工繁殖の努力もつづけられ，ついにヒナが1羽かえった。

●野生生物は今

フィリピンワシの未来に希望がみえた

永戸豊野 WWFJapan（世界自然保護基金日本委員会）

猛禽（もうきん）類の中でもとりわけ強くたくましいワシは，フィリピンワシ，カンムリクマタカ（アフリカ），オウギワシ（中南米）だといわれている。いつ，だれが選んだのかは知らないが，これをワシの3強としたのは大きさ，食性，くちばしやあしのつくりなどによるのだろう。

かつてフィリピンワシはサルクイワシとよばれていた。熱帯林の樹冠（じゅかん）すれすれに飛びながらサルやヒヨケザルをつかまえる姿は，確かに迫力があるだろう。このワシの名をかえさせたのは故マルコス大統領であった。しかし一方で，この独裁者はその生息域である熱帯林の伐採を，ほとんど無制限に許してしまった。

フィリピンワシが最も多かったと思われるミンダナオ島は緑豊かな島で，今世紀初頭には65％が原生林だった。それが1973年には30％になってしまった。当然，フィリピンワシのえさとなる獲物も減った。現在フィリピン全土に生き残っている個体数はわずか300羽以下とみられる。

フィリピンワシの危機を救うために，フィリピンワシ保護計画財団（PECPF）は，1977年から人工繁殖を試みている。WWF（世界自然保護基金）はこれを支援してきたが，産卵まではうまくいっても，ヒナがかえらず，人工繁殖はほとんど絶望視されていた。ところが今年になって，ついにヒナを1羽かえすことに成功した。

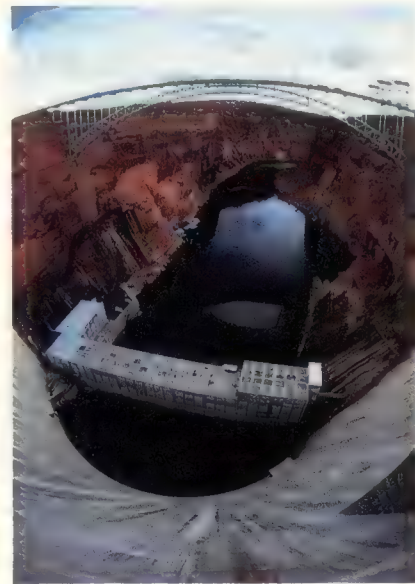
かえったときの体重は134.6グラム，8週間後には2.7キログラムと順調に育って，関係者を安心させた。PECPFでは，この幼鳥を「希望」と名づけ，今後も人工繁殖のために飼いつづけるという。また，いま飼育している13羽にプラスして，いつか野生に返せるという希望を捨てていない。

●アースマター

コロラド川流域生態系を大きくかえたダム

1963年，グランドキャニオンを流れるコロラド川の上流にグレンキャニオンダムができた。ダムは流域の生態系を大きくかえてしまった。ダム湖にためられた水の温度は低く，3～4種の魚がすめなくなった。絶滅にひんしている種であるウグイの一種は水が冷たくて産卵できず，生息がおびやかされている。

しかし30年近い年月は，また新しい生態系をもつくりあげた。放流されたニジマスをはじめ，冷たい水に適した魚が繁殖している。そのニジマスを食べに絶滅に近い種であるハゲワシがやってきた。川岸の新しい植生には多数の小鳥が集まっている。その鳥を求めてやはり絶滅に近い種のハヤブサがやってくる。

そして今ダムは，今度はこの新しい生態系にもダメージをあたえている。ダムの流量調節で部分的に水が干上がり，ニジマスの産卵が悪影響を受けている。

グレンキャニオンダムから見下ろす峡谷（きょうこく）

アースウォッチ Earth Watch

アメリカ北西部にすむニシアメリカフクロウ

●アースマター

フクロウの森を守るエコロジカルな林業

アメリカ西海岸，カナダ寄りのワシントン州，オレゴン州，カリフォルニア州北部には壮大な大森林が広がる。林業が昔からさかんだったこの森に，絶滅の危機にひんするニシアメリカフクロウが生息する。フクロウか林業かではげしい対立が生じ，森の生態学的調査が行われた。

木を伐採すると，温度変化や風の影響が森の内部に伝わりやすくなる。敏感な生物ほど悪影響を受ける。フクロウをはじめ生物の多様性を守るためには，手つかずの森が広ければ広いほどよい。しかし木の伐採をゼロにするわけにはいかない。それではどのような指針が必要か。

土地をまる裸(はだか)にしてしまわず，部分的に伐採すること，伐採する樹種を選ぶこと，倒木を残しておくこと，保護区を設けること，保護区と保護区間での生物の移動を可能にし，交配相手（遺伝子）の選択肢(し)の幅を広げられるようにすることが提案され，実行されつつある。

●市民運動ウォッチ

「ソラダス」で世界の都市の大気汚染測定

1992年4月号のNewtonで紹介した大気汚染(おせん)の簡易測定器具「ソラダス」。これを使って日本，フランスなど世界15か国のNGO（非政府組織）が各国の二酸化窒素濃度を測定した。その結果，発展途上国の市民の居住地域における汚染の深刻さが指摘された。インドのデリーでは，日本の環境基準の0.04〜0.06ppm（1ppmは1%の1万分の1）をはるかにこえる0.144ppmを記録した。お問い合わせ先／CASA（地球環境と大気汚染を考える全国市民会議）☎06-941-3745

●環境アラカルト

心をゆさぶるビデオ残したい日本の自然

創立41周年の（財）日本自然保護協会（NACS-J）が，日本の自然を紹介するビデオ『ネイチャー・ストーリー』（47分）を製作した。自然林，湿原，川，サンゴの海，雑木林，そしてそこに暮らす野生生物の四季おりおりの姿が，私たちの心と暮らしをどれだけ豊かにしてくれるかを，このビデオは教えてくれる。

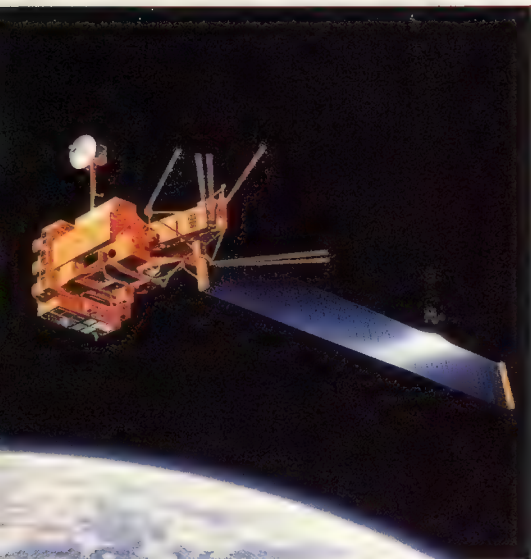
ビデオの収益は全国の自然保護活動に使われる。お申し込みは料金5000円と送料360円をそえて現金書留か郵便振替で（東京5-51775）。お問い合わせ先／（財）日本自然保護協会〒105東京都港区虎の門2-8-1虎の門電気ビル4F ☎03-3503-4896

●環境アラカルト

知ってる？ ニカド電池はリサイクル可能です

黄緑色のマークがニカド電池の印。マークの下にはNi-Cdの文字がつく。

ビデオカメラやコードレス電話，電気カミソリ，ワープロなど，ニカド電池の用途は多い。しかしニカド電池は乾電池ではなく充電池で，リサイクルも可能ということはあまり知られていない。そこで1993年春より，ニカド電池に新しいマークがつく。回収はステッカーのはってあるお店で。お問い合わせ先／（社）日本蓄電池工業会☎03-3434-0261

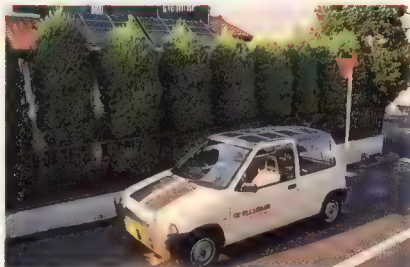
ビデオでは白神山地の自然林とクマゲラ，ツキノワグマなどが映しだされる。

地球環境の観測には人工衛星の利用が不可欠だ。「ADEOS」に大きな期待が……。

●環境アラカルト

高性能センサー搭載の地球観測衛星準備進む

1996年に打ち上げが予定されている宇宙開発事業団の「地球観測プラットフォーム技術衛星（ADEOS）」。準備は着々と進んでいる。海色海温走査放射計は，潮流や赤潮などの海色と，海表面温度を高感度で観測する。高性能可視近赤外放射計は，陸地の植生や土地利用状況を把握する。その分解能はこれまでのセンサーにくらべて格段に高く，また雲があっても観測可能である。

温室効果気体センサーは，大気中の二酸化炭素やオゾン，メタン，酸化窒素などの濃度を測定する。対流圏における温室効果ガスの測定が世界ではじめて行われる。これまで不足していた海域上における大気温度データも得られる。

ADEOSにはこれ以外に5個のセンサーが搭載され，海上風や大気中の二酸化硫黄などが観測される。お問い合わせ先／宇宙開発事業団☎03-5470-4111

改造ソーラーカーと自宅屋根の太陽電池

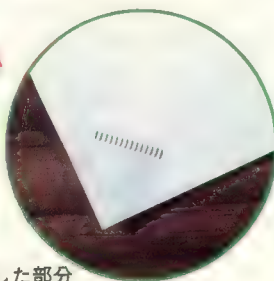
●環境アラカルト

電気軽自動車を改造したソーラーカー快走

東京電機大学の藤中正治教授は，市販の電気軽自動車を改造してソーラーカーをつくった。「自宅屋根に取りつけた太陽電池に接続して充電し，走るときは身軽」これが最大の秘訣だそうだ。満充電には東京で快晴なら2日，雨なら1週間かかる。走行中は車の屋根とフロントにつけた太陽電池も利用する。2人乗りで一充電最大走行距離は140キロ，最大時速100キロ。お問い合わせ先／東京電機大学☎03-5280-3359

●最新エコビジネス

針なしホッチキスで紙のリサイクル簡単に

針なしホッチキス「クリップレスM-6」が販売されている。針を使わずに紙を波形に圧縮してとじる。一度に3〜4枚まで可。これを使えば針が節約できるし，紙の分別回収も楽になる。針は，古紙を再生するときに紙の不純物を除く機械の故障原因の一つになっている。お求めは大手デパートなどで。お問い合わせ先／(株)LIHIT LAB.☎03-3862-6911

「クリップレスM-6」3500円

紙を圧縮した部分

●最新エコビジネス

電気自動車時代が近づいた！ 初のワゴン

トヨタは電気自動車の「タウンエース」を1993年1月に発売する。軽自動車を除く一般車の電気自動車の商品化は日本ではじめてである。交流誘導モーターと鉛電池を搭載し，ガソリンはいらない。1回の充電で160キロ（時速40キロ）走ることができる。最高時速は110キロ。価格はまだ高めの800万円。充電器は別。お問い合わせ先／トヨタ自動車(株)☎03-3817-9111

「タウンエース」

●最新エコビジネス

ネコのトイレ用砂に新聞紙のリサイクル

協和発酵はネコ用のトイレ砂「イエスタディーズニュース」を発売した。カナダからの輸入品で，新聞紙を乾燥圧縮して再生したもの。製造過程でインク抜きをしないため，有害な廃液も生じない。

吸水性や脱臭効果にすぐれるが，最大のメリットは，使用後に可燃ごみ扱いできることだ。従来のベントナイト製品は，原料が鉱物なので可燃ごみ扱いできない。2.27キロで1100円。お問い合わせ先／協和発酵(株)☎03-3282-0085

NEWTON INFORM

読者のため

アメリカ初の人工衛星と世界初の気象衛星の展示

北九州市にあるスペースワールドでは，アメリカ，スミソニアン航空宇宙博物館より人工衛星の歴史の第一歩をかざった貴重な二つの衛星を借り受け，「宇宙博物館」に展示することになった。一つはアメリカ初の人工衛星「エクスプローラー1号」の実物大模型（写真）である。本機は旧ソ連のスプートニク1号と2号の打ち上げ成功によって宇宙開発において出遅れたアメリカが1958年1月に打ち上げた人工衛星であり，高度400～1700キロメートルを周回した。そして地球磁場によって捕そくされた放射性粒子が地球を取り巻いている帯状のバンアレン帯（放射帯）を発見し，宇宙科学に大きく貢献した。スペースワールドにはスプートニク1号も展示されている。そのため本機の仲間入りで宇宙開発の夜明けを告げた二つが肩を並べることになり，宇宙科学の進歩をまのあたりにできるようになった。
もう1機は，世界初の気象衛星「タイロス」の実機である。本機は1960～1965年に10個打ち上げられたものの一つである。これ以後，気象学者たちはたえず変化する世界の気象情報を毎日得られるようになったという画期的なものである。お問い合わせ先／株式会社スペースワールド☎093-672-3456

セント・ギガの1993年CDカレンダー発売

地球上空3万6000キロメートルに浮かぶ放送衛星「ゆり3号」から地球に音を降り注ぐ「St. GIGA（セント・ギガ）」。自然音とオールジャンルの音をミックスした“音の潮流”をBS5チャンネルの独立音声で放送中のデジタル音楽放送局である。そのSt.GIGAから「1993年版CDカレンダー」が発売された。CDにはスタッフがデジタル収録した2000本をこえる自然音ライブラリーの中からとくに美しい音を厳選し，春，初夏，夏，秋，冬おりおりの音風景が収録されている。なかでも「初夏」の大雪山旭岳のクマゲラと高野山のモリアオガエルは聞きもの。またCDジャケットサイズのカレンダーは，付属の“CDスタンド”を利用して卓上カレンダーとしてもそのまま壁掛けカレンダーとしても利用できる。なおカレンダーには“FULL MOON DAY（満月）”の表示がある。定価は3,000円。申し込み方法は，現金書留の場合，希望部数商品代金に送料500円をそえて〒150渋谷区神宮前2-4-12 フルークス外苑セント・ギガ・クルーズCDカレンダー係まで。クレジットカード支払いの場合とお問い合わせ先／フルークス外苑セント・ギガ・クルーズCDカレンダー係☎0120-336-765

コンピュータと接続できる音声認識応答装置発売

東芝から，コンピュータLANに接続できる音声認識応答装置「Power Voice（パワーボイス）」が発売された。本機は業界標準プロトコルであるTCP／IPの採用により，通常のコンピュータ周辺機器と同様LAN上で独立した形で接続できる。そのためパソコンから汎用機までさまざまな種類のコンピュータと組み合わせた応用システムを容易に構築できる。価格は3,500,000円。お問い合わせ先／株式会社東芝☎03-3457-2725

手軽に使えるコンパクトタイプの口臭判定器発売

最近オーラルケア，とくに口臭予防に対する関心が高まっている。このほど松下電工からコンパクトな口臭判定器「オーラルチェッカー EW180」が発売された。口臭の要因には，口中のよごれや病気，空腹などの生理状態，食べ物や飲み物，緊張や心配性などの心因性のものなどがある。口臭のある人の呼気を分析すると，約90％が硫化水素とメチルメルカプタン（タンパク質の腐臭），硫化ブチルからなっていることがわかる。本器はこのメチルメルカプタンの濃度を半導体センサーで測定し，口臭を4段階で測定する。
操作は電源ランプを押し，センサーのクリーニングが終わるまで約30秒間待つ。測定可ランプが点灯したら，吹きこみ口に約3秒間息を吹きかけるだけである。判定の結果は◎／○／△の判定マークをランプで表示して知らせてくれる。また判定後は次の測定のために準備中ランプが点滅し，センサーのクリーニングを行う。アルカリ単4乾電池2個使用。1日1回の測定で約4か月使用できる。色は紫の1色。サイズは60（W）×21（H）×80（D）ミリ。重さは72.5グラム（乾電池含む）。価格は11,000円。お問い合わせ先／松下電工株式会社☎06-908-1131

計算の経過や結果を読み上げる音声電卓発売

シャープは「社会福祉法人　日本盲人会連合」と「社会福祉法人　日本点字図書館」を通じて，計算の経過や結果を読み上げ，数値を耳で確認できる音声電卓「CS-2600」を発売した。本機は数字や四則など，キー操作に応じてキー名称や表示している数値を読み上げる。“＝”や“%”などのキー操作によって計算が実行された場合には，キー音声につづいて自動的に計算結果を読み上げる。表示数値の読み上げは，位をつけて数字を読み上げる「位取り読み」と「棒読み」の2モードの切りかえができる。キー操作の結果エラーになった場合には，エラーに応じて3種類のメッセージを報知して知らせる。
音声は聞き取りやすい女性音声を採用。音量や音声速度は好みによって調節できる。付属のイヤホンによって，音声を出さずに計算したりイヤホンだけで聞くこともできる。点字による取扱説明書と，キーボードの各キーの位置が点字でわかるシートを付属している。サイズは210（W）×74（H）×220（D）ミリ。重さは985グラム。価格は52,000円。お問い合わせ先／日本盲人会連合用具購買所☎03-3200-0011または日本点字図書館・用具事業部☎03-3209-0751

通信が楽しめるジュニア向け電子手帳発売

カシオ計算機から，はなれた相手とメッセージの交換ができる通信機能を装備した子供向け電子手帳「スーパー電子手帳Jr.（ジュニア）JD-300」が発売された。本機は友達帳やスケジュール帳などの実用機能に加えて，友達どうしでメッセージをやりとりできる通信機能や似顔絵作製機能などジュニアの遊び心を満たすユニークな機能をそなえた電子手帳である。通信機能では本機を持っている友達どうしでメッセージを送り合うことができ，合い言葉を決めておけば特定の相手と秘密の会話もできる。メッセージは「きょうひま？」「しゅくだいした？」「あそびにいこう」など子供の生活に密着した20種類が，あらかじめ登録されている。またオリジナルメッセージを10種類まで登録することもできる。
似顔絵作製機能では30種類の顔をもとにモンタージュ写真の要領で組み合わせて似顔絵を作製し，名前や住所とともに記憶することもできる。相性占いと運勢占いの2種類の占い機能もついている。サイズは88（W）×15.5（H）×138（D）ミリ（閉じた場合）。重さは125グラム（乾電池含む）。価格は13,800円。お問い合わせ先／カシオ計算機株式会社☎03-3347-4811

学生デザインコンテスト「豹展」作品募集

豹展は学生によるデザインコンテストです。オリジナル作品を公募し，優秀作品は表彰のうえ，1993年4月5日～4月10日まで東京，銀座5丁目にあるギャラリー「アートサロン・こころ」にて一般公開いたします。個性あふれる才能に出会えることを楽しみにしていますので，ふるってご応募ください。
●主旨＝自由な発想と個性による「豹」の表現を広く求める公募展。●表現方法＝タブロー，イラスト，モンタージュ，コラージュ，版画，写真，CGなど自由。ただし未発表平面作品に限る。●作品仕様＝B3サイズ（51.5×36.4センチメートル）以下。素材は自由。応募点数は1人5点以内。●出品＝無料。郵送および委託配送に限る。●応募資格＝高校生以上，28歳以下の学生（1993年3月現在，高校，専門学校，大学，研究室大学院，予備校などの在籍者）。●締切り＝1992年12月15日（当日消印有効）。●賞＝大賞1点，賞金100万円。優秀賞2点，賞金各20万円。入選20点，賞金各3万円。
●主催＝プロセス資材株式会社／豹展事務局。
●お問い合わせ先／〒104 東京都中央区銀座7-10-5第3サンビル　「豹展」事務局☎03-3572-8172

地球にやさしい環境対応マット発売

内田洋行から，新素材のオレフィン系素材を採用した「ウチダ・デスクマットE（エコロジー）タイプ」と「ウチダ・カッティングマット（グリーン・トレース用）」が発売された。オレフィン系素材は，従来の素材と比較すると原料生成からシート加工時までのエネルギー消費量が約60%，それにともない発生する二酸化炭素やイオウ酸化物，窒素酸化物を約60～80%におさえることができる。また従来の素材では廃棄後焼却した場合に塩化水素ガスが発生したが，オレフィン系素材の場合は塩化水素ガスは発生しない。
さらに可塑剤を含んでいないため，埋め立てした場合でも水による重金属の流出や有機物の流出を防ぐことができる。熱に対して安定しているためリサイクルもしやすく，分別回収にも対応できる。比重が軽いため運搬エネルギーが少なくてすみ，排気ガスの排出量も軽減できる。こうした素材の採用によって，商品ライフサイクルのすべての段階において地球にやさしい環境対応マットを実現した。
デスクマットは8品種，カッティングマットはそれぞれ4種類ずつ用意されている。価格は1,300～11,500円。お問い合わせ先／株式会社内田洋行☎03-3555-4281

BORG
oasis studio

Let's Star Watching!

澄んだ夜空のシーズン到来。

BORGの8大特徴

①超軽量
②低価格
③コンパクトで高性能
④対物レンズ交換式
⑤ターレット式接眼部
⑥カメラマウント付(76セット・100セット)
⑦一式が収納可能(76セット・100セット)
⑧わかりやすい説明書付

新発売

- 大口径100ミリで明るさ抜群
- 土星のリング・オリオン大星雲もバッチリ見える抜群の解像力
- 天体＋地上望遠鏡＋超望遠レンズの3機能搭載
- ピラー脚に対物レンズを除く一式が収納可能

写真はオリオン大星雲
(BORG100EDで撮影)

商品番号 N0076
本格的天体観測をものにする赤道儀付
BORG76セット（ボーグ） ■68,500円 特価 **54,800円**
●口径：76ミリ●焦点距離：500ミリ●F：6.6●接眼レンズ3個付(10倍～151倍まで9種類)●微動付赤道儀＋ピラー脚兼収納ケース付●収納時：全長7[illegible]●全重量：4.6kg●取り扱い説明書付●カメラマウント付

通商産業省選定グッド・デザイン商品
ボーグ76セット

ボーグ100セット

商品番号 N0011
大口径100ミリが身近になった
BORG100セット（ボーグ） ■97,500円 特価 **78,000円**
●口径：100ミリ●焦点距離：640ミリ●F：6.4アクロマート●接眼レンズ3個付(13倍～193倍まで9種類)●微動付赤道儀＋ピラー脚兼収納ケース●収納時全長：78cm(対物レンズ別)●全重量：5.2kg●取り扱い説明書付●カメラマウント付

<別売アクセサリー>
- 地上プリズム(全機種共通) 特価7,800円(新発売)
- 携帯ケースP(65P・76P用) 特価3,600円(新発売)
- 携帯ケース(76セット・100セット用) 特価2,800円

商品番号 N0063
初心者に最適
BORG65Pセット（ボーグ） ■34,800円 特価 **19,800円**
●口径：65ミリ●焦点距離：450ミリ●F：6.9●接眼レンズ2個付(10倍～136倍まで5種類)●3段式カメラ三脚付●収納時全長：56cm●全重量：1.6kg●取り扱い説明書付●別売カメラマウント：1,440円

商品番号 N0075
入門機の決定版
BORG76Pセット（ボーグ） ■42,300円 特価 **29,800円**
●口径：76ミリ●焦点距離：500ミリ●F：6.6●接眼レンズ2個付(10倍～151倍まで5種類)●3段式カメラ三脚付●収納時全長：56cm●全重量：1.9kg●取り扱い説明書付●別売カメラマウント：1,440円

お申込み方法

- ご注文はおハガキ・FAX・お電話で
- お支払いは代金引換で

おハガキでのお申込み

下記の要領で郵便ハガキにご記入のうえ当社までお送り下さい。

郵便はがき
41円
124
東京都葛飾区
立石3-19-3
(株)トミー・オアシス
スコープ事業部
ニュートン12係

①商品名(商品番号)
②カメラマウントご希望の方はカメラ名
③〒、ご住所
④氏名㊞、年令
⑤電話番号

FAXでのお申込み

FAX.03(3694)6108

おハガキと同じ要領でFAXして下さい。FAXは24時間受付しております。

お電話でのお申込み

TEL.03(5698)5956

月～金曜日の午前9時～午後7時まで。

※贈り物としてご希望の方は送り先を明記の上、現金書留にてお申込み下さい。

納期について

商品は全て3年間の保証書添付のうえ、お申込み後約7～10日でお届け致します。(ご希望配達日があれば明記下さい。日曜配達や午後6時～8時の指定配達もできます。)

お支払いについて

お届け時に商品と引き換えにお支払い下さい。ヤマトコレクトサービスにてお届けします。お届け前に必ずお電話をしてご在宅を確認のうえお伺い致しますのでご安心下さい。(送料1,000円と消費税3%が加算されます。)

返品・交換について

万が一商品がお気に召さない場合はお届け後8日以内ならご返品できます。(返送料のみご負担下さい)。キズ、破損等当社理由による商品の交換は事前に連絡のうえ送料着払いにてお送り下さい。無料交換致します。

※商品の価格は、すべて消費税・送料別です。

<お申し込み先・製造元>
TOMY
株式会社トミー
オアシス・スコープ事業部
〒124 東京都葛飾区立石3-19-3
TEL.(03)5698-5956
FAX.(03)3694-6108
●(株)トミーはトミカやプラレール、トミックスで有名な玩具メーカーです。

カタログ・注文書のご請求はハガキか電話で当社NT係まで。無料でお送り致します。

LETTERS

「なぞ」に魅了されました
植坂玲子／滋賀県大津市

これまであまり興味がなかったのですが，9月号の*NEWTON SPECIAL*「古代エジプトのなぞ」を読んで，エジプトに魅了されました。長い年月を経ても，なお当時の様子をはっきりと思い浮かべさせる壁画の数々。パシェドゥの墓の壁画はあまりにも色彩豊かで，今から3000年以上も昔に，一体どのような塗料を使って，このような鮮やかな色をだしたのだろうかと思いました。このすばらしい遺跡の数々を後世に残し，さらに研究・調査を進めてほしいです。

ピラミッドは進化した？
小島健司／岐阜県各務原市

近頃，古代エジプトに興味を持ち始めていた僕にとって9月号の*NEWTON SPECIAL*「古代エジプトのなぞ」はとてもうれしいものでした。エジプトには30以上の王朝があったとか，ピラミッドの進化？など知らなかったことがいっぱいでした。しかしそのピラミッドもこわれかけていると聞いてとても驚きました。早い修復を期待しています。

● 今回監修をお願いした吉村作治先生には，「ピラミッド研究の最前線」をさらにくわしく解説していただく予定でいます。ご期待ください。

じっと指を見つめました
中村文香／埼玉県和光市

9月号の*ZOOM & FOCUS*「小さな命が生まれる」に非常に感激しました。私の指は，細胞が自発的に死んでできたのかと思うと，じっくりながめないわけにはいきません。最近は自殺が多いけれど，本当は生まれてくることにこそ感謝せねばならないのだと思います。何億分の一の可能性で生まれてきた自分が何とも不思議です。生命の尊さと，神秘さ，偉大さを改めて知らされました。生命の誕生を通して，生きることの意義が分かったような気がします。命を大切にしようと，心から思いました。

小さな命の大切さ
八木橋夕子／滋賀県高島郡

9月号の*ZOOM & FOCUS*「小さな命が生まれる」を読んで私は今まで持っていた生命への考えを一変させられました。

この年になるまで，学校の授業などで生命の誕生について学びますが，この記事を読むまで生命についてかなり安易に考えていたようです。例えば子供に対する喫煙の影響，たいしたことはないと思っていてはいけないのですね。たとえ成年になっても女性は喫煙すべきではないのです。生命をはぐくむべく女性の体はつくられています。生命をおびやかすものは女性はあつかってはいけないのです。

おなかの中で一時も休むことなく変化していく胎児には目をみはりました。胎芽期の変化など，あらためて学んだほどです。胎児は生きているんですね。羊水の中で生命の歴史を夢みながら……。

私の親戚に新しく生まれたまだ小さな子供がいます。彼らは今も羊水の中にいたことをおぼえているのでしょうか？　これからは妊婦さんに対する考えも胎児に対する考えも，生命に対する考えもすべて新しくなると思います。それも今回の記事のおかげです。ほんとうにありがとうございます。心から感謝しています。

● 「感動した」というお手紙のほとんどが女性の読者からでした。胎児の成長というドラマは女性の胎内でのみ可能なことだからでしょうか。男性の感想も聞きたいですね。

おつかれさま，毛利さん
座間千恵子／神奈川県横浜市

『Newton』を読むと科学のすばらしさがわかり，すみからすみまでおもしろい！ ファッション雑誌よりずーっとおもしろいぞ!! 9月12日のスペースシャトル，感動したなー！ 毛利さん，がんばれ。

● 「毛利さんについての記事を読みたい」というお手紙をたくさんいただいています。今月号でも一部を紹介しましたが，来月号ではさらにくわしい情報をお届けします。

太古の星の輝きに心ひかれて
魚崎美弥子／兵庫県神戸市

今年の夏は流星群を見ようと休み中，夜遅くまで起きていたけれど空は晴れず，秋になってしまいました。「星物語」を読んで，今度は中秋の名月を見ようと，心に決めたのです。今見ている星空には太古の星々が共存していると思うとますます星に心ひかれていきます。もっともっと星についてくわしく知りたいと思わされます。

● 神話をおりまぜながら毎月の星座を紹介してきた「星物語」も今月で終わりです。来月からは「星物語——太陽と惑星たち」の連載がはじまります。ご期待ください。

考古学もNewtonで
小川元康／大阪府箕面市

Newtonに考古学の記事が載っていることを知りませんでした。宇宙や生物など“理科”の分野だけだと思っていました。楼蘭のミイラの話など期待しています。

● 今月号の*ZOOM & FOCUS*では，シルクロードを取り上げました。「楼蘭の美女」も紹介しましたが，いかがでしたか。

Newton92年9月号に一部誤りがありました。おわびして訂正いたします。
P45の本文右段3行目「1992年」は「1991年」の誤りでした。
P81図中の深さの単位「m」は「km」の誤りでした。

皆さんの声をお聞かせください

Newtonでは，読者の皆さんからのご意見やご希望，読みたい記事などをお待ちしております。ただし，ご質問は本誌に掲載された記事に関するものに限ります。住所，氏名，年齢，職業（学生の方は学年）を明記のうえ，巻末の愛読者カードまたは葉書でお寄せください。お便りをいただいた方の中から毎月抽選で5人の方に，Newton特製テレホンカードを進呈いたします。また，*LETTERS*のコーナーに採用させていただいた方には，Newton特製ポストカードセットを進呈いたします。

CONTRIBUTORS

●進むマイクロマシン研究
林 輝／はやし・てる
東京工業大学精密工学研究所教授。工学博士。1932年，千葉県生まれ。東京工業大学機械工学コース卒業。専門は機械工学。主な研究テーマはマイクロメカニズム，高性能歯車機構などである。微小生物の運動機構にも興味をもっている。著書に『マイクロマシンと材料』(監修)がある。

●シルクロード
片山章雄／かたやま・あきお
東海大学文学部講師，東洋文庫研究員。1957年，北海道生まれ。上智大学文学部史学科卒業。専門は東洋史，中央アジア史。研究テーマは楼蘭史，ウイグル民族史，中央アジア近代探検史など。1990年12月号「古代文明は警告する」でもご協力いただいた。

●生物大絶滅はなぜおきたか
濱田隆士／はまだ・たかし
東京大学教養学部教授。理学博士。1933年，宮崎県生まれ。横浜国立大学学芸学部地学科卒業。専門は地史古生物学。主な研究テーマは日本の三葉虫類，サンゴ礁の地球史，火山島のシステム研究など。著書に『地球物語』『海と文明』『恐竜の図鑑』などがある。

●夢と眠りの秘密
鳥居鎮夫／とりい・しずお
東邦大学名誉教授。医学博士。1924年，静岡県生まれ。名古屋大学医学部医学科卒業。専門は睡眠生理学。著書に『朝がうれしい眠り学』『夢を見る脳』などがある。1990年2月号では「人はなぜ夢をみるのか」をご執筆いただいた。

井上昌次郎／いのうえ・しょうじろう
東京医科歯科大学医用器材研究所教授。理学博士。1935年，ソウル生まれ。東京大学理学部生物学科卒業。専門は睡眠科学。現在，睡眠物質と睡眠調節についての学際的・国際的研究に従事している。『脳と睡眠』『睡眠物質の生物学』(英文)など多数の著書がある。1992年7月号では「人はなぜ眠るのか」をご執筆いただいた。

大村政男／おおむら・まさお
日本大学文理学部心理学科教授。文学博士。1925年，東京都生まれ。日本大学法文学部文学科(心理学専攻)卒業。専門は性格心理学。研究テーマは特性不安と状態不安，血液型性格学。著書に『血液型と性格』『異常性の世界』『心理学アスペクト』(共著)などがある。1992年9月号では「自分をさがす心理学」をご執筆いただいた。

●イルカは人の心がわかる
宮崎信之／みやざき・のぶゆき
国立科学博物館動物研究部主任研究官。農学博士。1946年，東京都生まれ。東京大学大学院農学系研究科博士課程修了。専門は海生哺乳類の形態と生態。最近は海生哺乳類を指標とした海洋汚染研究を進めている。著書に『琉球の自然史』『動物大百科』(いずれも一部担当)などがある。

●完全保存版 世界の宇宙開発計画一覧
堺 一弘／さかい・かずひろ
有人宇宙システム株式会社企画部付主幹技師。1932年，北海道生まれ。現郵政大学校研究部修了。宇宙開発事業団で国際室業務課長，ロサンゼルス駐在員事務所長，調査国際部次長などを歴任後，1991年5月退職。長年，海外の宇宙開発動向の調査と分析を行ってきた。最近では1990年4月号「ソ連の宇宙活動の拠点『ミール』」をご執筆いただいた。

●日本のトキはどんな運命を歩んできたか
柿澤亮三／かきざわ・りょうぞう
(財)山階鳥類研究所資料室長，主任研究員。理学博士。1944年，東京都生まれ。横浜市立大学文理学部生物学科卒業。専門は鳥類学。ハクチョウの越冬生態の研究などを行っている。1992年3月号「消えていく地球の仲間たち」でもイラスト監修をお願いした。

Newton
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

1月号予告

NEWTON SPECIAL
人類と地球の未来 大予測
今後どのような出来事が人類と地球を待ち受けているのだろうか。小惑星の衝突や氷河期の襲来，地磁気の消滅，生物の進化……。現在の科学で予測しうる近未来から地球最後の瞬間までを解説。

ZOOM & FOCUS
毛利さん 宇宙生活徹底レポート
スペースシャトル，エンデバー号で宇宙を飛んだ日本人宇宙飛行士，毛利衛さんの8日間を徹底的にレポートする。さらに日本の宇宙実験の将来計画もくわしく紹介する。

体験！ サイエンスワールド
のぞいてみよう身近な宇宙
私たちのすぐそばにある博物館や科学館，実はこれが不思議なサイエンスワールドの入り口なのだ。だれでも利用できる全国の楽しい施設を紹介する情報コーナーがスタートする。

最初のヒトを求めて
240万年前のヒトの化石が発見された。サルからヒトへ，人類の進化の流れの中で最初のヒトはいつ，どのようにして生まれたのか。私たちのルーツ，人類の起源をめぐるなぞにせまる。

オジロワシ
天然記念物に指定されている珍鳥オジロワシ。越冬そして繁殖と，北海道を舞台にくり広げられるオジロワシの一年を竹田津実氏の写真で紹介する。

GEOGRAPHIC——竹内 均
金 GOLD
金は人類にとって最も古くからかかわってきた金属の一つである。私たちを魅了してやまない金は世界中で文明をもたらし，数々の伝説をつくった。

新幹線はどこまで速くなるのか
「のぞみ」「つばさ」など，より高速の新幹線が注目を集めている。高速の新幹線はなぜ必要か。また新幹線の高速化はどこまで可能なのか。

Newton特製ファイルのご案内

Newton特製ファイルは6号分を収納できます。Newtonを1月号～6月号，7月号～12月号の2個のファイルに分けて保存してください。
色はワインレッドとマリンブルーの2種類です。

お申し込み方法
●Newtonを一般書店でご購入されている方は，お買い求めの書店に同色2個単位でお申し込みください。
●Newtonを中央教育社出版販売株式会社から郵送でお届けしている方は，郵送にてお届けいたします。郵送料を添えて現金書留または振替用紙にて中央教育社出版販売株式会社に，同色2個単位でお申し込みください。
●Newtonを教育社出版販売株式会社から宅配員が直接お届けしている方は，担当員または教育社出版販売株式会社にお申し込みください。電話でのお申し込みも受け付けております。

特別頒布価格 1個 1030円（税込）

背表紙用 インデックス・ラベルについて
各年の1月号から6月号，および7月号から12月号の主要記事が印刷されたインデックス・ラベル（無料）を用意しております。1月号～6月号分は5月下旬，7月号～12月号分は11月下旬にお渡しいたします。ファイルにはインデックス・ラベルはついていませんので，以下のような方法でファイルとは別途お申し込みください。
●ファイルを一般書店でご購入された方は，お買い求めの書店にお手持ちのファイルの色をご指定のうえお申し込みください。後日，店頭にてお渡しいたします。
●ファイルを教育社出版販売株式会社から郵送または宅配員がお届けしている方は，6月号配本時（5月下旬）と12月号配本時（11月下旬）にお届けいたします。

Newton 誌上販売

Newtonがお届けする特選ポスター

今までに人気の高かったNewtonのポスターを特別解説付きで購入することができます。

●特別注文品を除くポスターのお申し込みは，最寄りの書店か巻末の振替用紙，または申し込みはがきをご利用ください。

ポスターは筒に入れ折らない状態でお手元にお届けします。

豪華版 88星座全天マップ

Newton特別解説付き　定価3500円（税込）

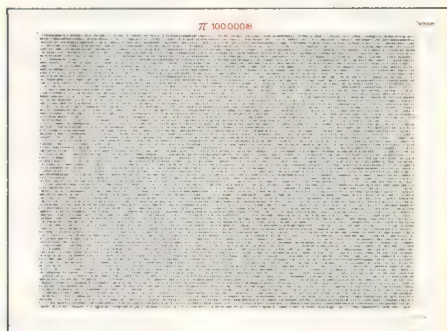
Newton92年7月号付録「88星座全天マップ」の拡大版ポスターができました。暗いところでみると，星座が光る特殊なインク（蓄光インク）を使用した豪華ポスターです。

サイズ：左右80.0センチ×天地58.0センチ

π100,000桁

Newton特別解説付き　定価3000円（税込）

Newton92年1月号付録「π6万桁カレンダー」がバージョン・アップして，10万桁のポスターになりました。小数点以下，果てしなくつづくπの値をここまで網羅したポスターは世界初です。

サイズ：左右80.0センチ×天地58.0センチ

アース・フロム・スペース

Newton特別解説付き　定価3000円（税込）

人工衛星からの写真2000枚からつくられた世界初の全地球雲なし画像です。宇宙からみた地球の素顔がさまざまなイメージをよびおこします。

サイズ：左右88.4センチ×天地58.0センチ

特別注文品　アース・フロム・スペース豪華パネル入り

Newton特別解説付き　定価24000円（税込）

特別注文品につき，直接教育社へお申し込みください。

サイズ：左右90.0センチ×天地59.5センチ

Newton関連商品カタログ

ニュートンコレクション

監修／竹内 均

A4変型Newton判
各巻平均220ページ
オールカラー

第1期 全10巻 セット価格30900円（税込）

野生動物の生態／小動物の華麗な生態／人体の神秘／NASA 宇宙開発のパイオニア／地球 水と緑の大地／文明の源流をめぐる／科学の先駆者たち／宇宙のドラマ／天体観測／生きている地球

第2期 全10巻 10巻セット価格35000円（税込）

第1回配本 5巻セット価格17500円（税込）

太陽系のすべて／恐竜年代記／銀河系の彼方へ／相対性理論／ブラックホール宇宙

第2回配本 5巻セット価格17500円（税込）

アインシュタインをこえて／失われた古代文明／宇宙開発／科学の先駆者たち2／科学の先駆者たち3

Newton special issue

植物の世界 ナチュラルヒストリーへの招待

全4巻　監修／河野昭一

A4変型Newton判/各巻平均144ページ/オールカラー

セット価格6160円（税込）

- 第1号　ユキツバキ／カタクリ／チゴユリ
- 第2号　ホオノキ／ホソバテンナンショウ
- 第3号　オオモミジ／ツリフネソウ
- 第4号　ブナ／クロモジ／ショウジョウバカマ

Newton関連書籍

- ●タンパク質の構造入門／定価9800円（税込）
- ●細胞の分子生物学 第2版／定価18600円（税込）
- ●細胞の分子生物学 プロブレム・ブック／定価6500円（税込）
- ●世界の科学者100人／定価3800円（税込）
- ●世界最大の謎 失われた文明の謎に挑む／定価6980円（税込）
- ●ニュートンアトラス日本列島／定価15240円（税込）
- ●ニュートンワールドアトラス／定価16800円（税込）
- ●日本アルマナック1993／定価17000円（税込）
  （'92年12月末まで 特価14800円（税込））

ニュートン・ジュニアブックス

動物たちの生活シリーズ

全20巻　監修／今泉吉典

A4変型／オールカラー／平均48ページ

セット価格16400円（税込）

①スズメ
②カエル／カタツムリ
③ノコギリクワガタ
④アブラゼミ
⑤アキアカネ
⑥オオカマキリ
⑦クロヤマアリ
⑧ザリガニ
⑨チョウ／カイコ
⑩ミツバチ
⑪オオカミ
⑫イヌワシ
⑬マッコウクジラ
⑭きょうりゅう
⑮池の生き物
⑯川の生き物
⑰海の生き物
⑱ガラパゴス
⑲サバンナ
⑳サハラ

アイザック・アシモフの科学発見シリーズ

アイザック・アシモフ著
竹内 均／監修
全20巻

A5判／各巻64ページ

セット価格20600円（税込）

①地球は丸い？
②数字ってなに？
③電気ってなに？
④恐竜ってなに？
⑤細菌ってなに？
⑥ビタミンってなに？
⑦エネルギーってなに？
⑧すい星ってなに？
⑨原子ってなに？
⑩原子力ってなに？
⑪宇宙ってなに？
⑫地震ってなに？
⑬ブラックホールってなに？
⑭南極ってなに？
⑮人類の祖先ってなに？
⑯石油ってなに？
⑰石炭ってなに？
⑱太陽エネルギーってなに？
⑲火山ってなに？
⑳深海ってなに？

Newton別冊

A4変型Newton判／オールカラー

- ●アインシュタインをこえて／定価1900円（税込）
- ●太陽系グランドツアー／定価1900円（税込）
- ●相対性理論／定価1900円（税込）
- ●銀河系の彼方へ／定価1900円（税込）
- ●ブラックホール宇宙／定価1900円（税込）
- ●恐竜年代記／定価1900円（税込）
- ●太陽系のすべて／定価1900円（税込）
- ●地球クライシス／定価1900円（税込）
- ●失われた古代文明／定価1900円（税込）
- ●宇宙開発／定価1900円（税込）
- ●地球がわかる本／定価1900円（税込）
- ●人体の不思議／定価1900円（税込）
- ●星座物語／定価1900円（税込）

English Land

監修／植松みどり，アリス・バーナードほか

●入門編　全6巻

テキスト6冊／カセット60分×6巻／ワークシート付き

セット価格19200円（税込）

- vol.1　アルファベットをおぼえよう／ほか
- vol.2　身近なものを英語でいおう／ほか
- vol.3　いろいろな色をおぼえよう／ほか
- vol.4　英語で100までかぞえよう／ほか
- vol.5　家庭のことを英語でいおう／ほか
- vol.6　英語で自己しょうかいしよう／ほか

●初級編 全6巻

テキスト6冊／カセット60分×6巻／ワークシート付き

セット価格22800円（税込）

- vol.1　12か月・序数の表しかた／ほか
- vol.2　曜日のいいかた／疑問文／否定文
- vol.3　四季・天候・自然のいいかた／ほか
- vol.4　体の部分・病気・怪我など／ほか
- vol.5　職業／be動詞＋名詞の文
- vol.6　英語で友だちや家族を紹介しよう／ほか

Newton
GRAPHIC SCIENCE MAGAZINE ニュートン

1992年後期総目次

Newton
ニュートン
7
恐竜大百科

Newton
ニュートン
8
エネルギーと地球の未来

Newton
ニュートン
9
古代エジプトのなぞ

Newton 1992年 記事総索引

天文学

惑星科学

地球科学

気象

地球環境問題

物理学

化学

数学

地理・紀行

生物・自然

1992年1月号(Vol.12 No.1)～1992年12月号(Vol.12 No.13)

化石・古生物

生命科学・バイオテクノロジー

医学・健康

宇宙開発

コンピューター・エレクトロニクス

テクノロジー・資源

考古学・歴史

施設・組織

科学史

科学歳時記

編集長室から

竹内 均

1990年4月号から連載してきたアイザック・アシモフさんの科学コラムを今月号で終える。ご存じのとおり，アシモフさんは今年の4月に亡くなられた。死の直前まで，科学の最新ニュースに目を通し，わかりやすくて楽しい原稿を毎月送ってくださった。原稿がある程度たまっていたために，これまで連載をつづけることができた。しかしそのストックもなくなったために，今月号を区切りとすることにした。来月号からは別の形で科学の最新情報をお届けしたいと思っている。

天文関係の記事をまとめたNewton別冊『星座物語』をぜひお読みいただきたい。

今月号には「聖書の考古学」の後編が掲載されている。先月号の前編，8月号の「伝説のアトランティス」とをあわせて3部構成の記事ができたことになる。まだ東京大学に勤めていたころ，私は夏休みなどの休暇を利用して，これらの記事に出てくる土地をくまなくめぐっている。

今月号の *NEWTON SPECIAL* では「夢と眠りの秘密」を特集した。これまでNewtonに掲載したこれと関連した話題の反響が大きかったこともあって，かねてから一度この問題についての特集をしたいと考えていた。その夢が実現したことになる。こういう問題ではとかく，話が神秘主義やオカルトに走る傾向がある。そういうことにならないように，あくまでも科学的な視点に立って問題を追いかけてみた。そこのところをご理解いただければありがたい。

「世界の宇宙開発計画一覧」では，堺一弘さんに現在各国で進んでいる宇宙開発計画の紹介をしていただいた。これだけまとめた記事はこれまではなかったので，資料としての価値もきわめて高い。ぼう大な資料の分析をしていただいた堺さんに深く感謝したい。

今月号のインタビュー・コーナーでは宇宙科学研究所の水谷仁さんにご登場いただき，日本が計画している月探査計画についてのお話をうかがった。この計画では，ペネトレーターとよばれるやりのような装置を月面に突き刺して科学的な観測をするという，きわめてユニークな試みがなされるはずであり，私は以前から注目していた。なお水谷さんは，私が東京大学に勤めていたころの私の研究室の出身である。日本の科学の最前線で活躍しているこのような秀才たちを教育したことを，私はたいへん誇りに思っている。

Newton別冊『星座物語』が発売された。この別冊には星座にまつわる物語，宇宙の歴史をはじめ天文学の最新情報がおさめられている。さらに，読者に人気の高いタイムマシンやハレー彗星の記事も収録した。星がいちばんきれいにみえる冬にこそ，ぜひお読みいただきたい。

Newtonへのお便りは，かならず葉書きにてお寄せください

あて先：〒180　東京都武蔵野郵便局私書箱第1号 Newton編集部

Design

堀木一男，岩崎邦好，岡野祐三，豊田正江，旗手祥氏，宮下浩／
Visual Communication Design Convivia

Photograph

表紙 NASA
2 カメラ東京サービス，NASA
3 Newton，Robert Frerck/PPS
5～6 NASA
7 Nature Production
8 Czeslaw Czaplinski/Los Angeles Times Syndicate
11 Henry Gughel/Univ.of Wisconsin/Sipa Press/Orion Press
12～17 NASA
18-19 カメラ東京サービス
20-21 KEYPHOTOS
22 久保田博二/Magnum
23-25 水村孝/朝日新聞社
26-27 CPC/川田秀文
30 東海大学情報技術センター，福島武
31 テレビ朝日・朝日新聞社
32-33 横山匡
35 World Photo Service
37 菅井日人/世界文化フォト
38-39 カメラ東京サービス
40 World Photo Service
41 日本聖書協会
44 Krafft-Explorer/PPS
45 カーネギー自然史博物館
47 NASA
48-49 中村庸夫/ボルボックス
62 サンセット
64 奥平進之/東邦大学医学部
65 Gary Bistram/Image Bank
66 Orion Press
67 Louie Psihoyos/PPS，テイキング
68-69 水口博也/CETUS
70 CAPTAIN MAC
73 Francois Gohier/Orion Press
74 CAPTAIN MAC
75 Photo Sunstar/Uniphoto Press
76-77 NASA
77 NASA，宇宙開発事業団，NASA
78-79 宇宙開発事業団
82～83 NASA
83 文部省宇宙科学研究所
84 NASA，宇宙開発事業団
85 宇宙開発事業団
86 NASA，宇宙開発事業団，ノーボスチ通信社
87 British Aerospace International Ltd.
88～89 NASA
90 NASA，宇宙開発事業団
92 NASA
94 Newton
95 文部省宇宙科学研究所
97 文部省宇宙科学研究所
98 Newton
99 文部省宇宙科学研究所
101 NASA
104 World Photo Service
105～106 藤井旭
108-109 Robert Frerck/PPS
110～113 片平孝/東京フォトエージェンシー
115 片平孝/世界文化フォト
116 柴田勇治/東京フォトエージェンシー
117 カメラ東京サービス
118 長島義明/PPS
119 片平孝/カメラ東京サービス
120 World Photo Service
121 TOPHAM Picture Source/Orion Press
122 The Hulton-Deutsch Collection/PPS
123～124 World Photo Service
125 Erich Lessing/PPS
126 新潟県とき保護センター
127 WWF，Glenn Randall/Los Angeles Times Syndicate
128 Trygve Steen/Los Angeles Times Syndicate，(財)日本自然保護協会
129 宇宙開発事業団，藤中正治，Newton，トヨタ自動車株式会社
142 岩藤誠/Newton

Illustration

表紙 山本匠
2 山本匠
3 山本匠
9 岡本三紀夫
28-29 奥本裕志
29 岸野敏彦
31 増田庄一郎
36 荒内幸一
42-43 山本匠
45 岸野敏彦
46 木下真一郎
50～67 構成/堀木一男，旗手祥氏
52-53 林田洋一
54-55 木下真一郎
56-57 金井裕也
58-59 奥本裕志
60～63 荒内幸一
71 渡辺芳美
72 奥本裕志
77 山内傳
80-81 目黒市松
82～93 藤丸恵美子
91 山内傳
92 奥本裕志
93 山内傳
96 木下真一郎
100 奥本裕志
101～103 岸野敏彦
105 奥本裕志
107 柏崎義明，岸野敏彦
114 増田庄一郎

Newtonの教育社が開発した,中高生のための画期的な Xs(キィーズ)学習システム

効率学習で定期試験はいつも満点,志望校合格へ一直線

トレーニングペーパー
予習・復習

Xsで予習すれば明日の授業が待ち遠しくなります

Xsの操作はいたって簡単です。明日の英語の授業で35ページを習う場合,トレーニングペーパーのフロッピーを入れ,「3」「5」「印刷」の3つのキイを押すだけで,丁寧な説明,そして徹底したトレーニング問題が印刷されます。これさえやっておけば,先生の話もよくわかり,授業がどんどん面白くなり,学力アップまちがいなしです。

高校受験
弱点集中学習

Xsは志望校合格に直結したプログラムを用意します

Xsでは過去の実際の入試問題を中心にテスト形式で学習します。つまずいた個所の答えを丸暗記しても実力はつきません。わかっている個所はどんどん飛ばさないと時間がかかるだけです。つまずいた個所の類題トレーニングを繰り返すことによって初めて実力がつくのです。こうして,志望校合格の最短距離をつき進みます。

ワープロ

Xsは家族の人気もの,ワープロにも変身します

ワープロ用フロッピーを入れると,たちまちワープロに変身します。家族の電話帳,年賀状の宛名書きと,利用のしかたは自由自在です。

定期試験
実物テスト

Xsは定期試験で満点をとることを可能にしました

試験範囲を指定すると,Xsは実物そっくりのテストを7通りも打ち出します。範囲外の問題はまったく出てきません。最も効率よく勉強するために,各人の勉強すべき個所をその場で編集,印刷すること,これがXsの一番得意とする機能です。しかもXsの打ち出すテストは,もともと現職の中学校の先生によって作られた良問ばかりです。

- **機器価格**／255,440円
- **学習ソフト価格**／(教材ソフトはすべてレンタル契約です)
  小学5・6年算数,国語(トレペ)各レンタル月額1,500円,中学受験対策算数,国語各レンタル月額2,300円。中学1・2・3年英語,数学(トレペ・定期試験)各レンタル月額1,800円,国語・理科・社会(定期試験)各レンタル月額1,200円。公立高校用受験対策英語,数学各レンタル月額1,800円,国語・理科・社会各レンタル月額1,200円。高校1・2年英語,数学(トレペ・定期試験)各レンタル月額2,500円。この他難関高校受験対策,基礎演習等の特別コースのソフトがあります。
- **消耗品価格**／リボン1,000円(マルチ・ワンタイムとも),専用用紙750円(500枚)

＊上記金額はすべて消費税込みの価格です。

お問いあわせは教育社キィーズシステム株式会社
(東京 03-3232-8024 埼玉 048-647-5461 神奈川 0466-23-7737 大阪 06-359-5430 難波 06-648-1181 福岡 092-262-2828) または教育社出版販売各営業所へ

KYOIKUSHA

Newton 1992年12月号

1992年12月7日発行　毎月7日発行　第12巻第13号　編集人　竹内 均
昭和56年8月10日第3種郵便物認可　発行人　辻 裕久

〒189東京都東村山市恩多町1-12-3　株式会社 教育社　定価980円(本体951円)

Printed in Japan　雑誌07047−12

T1007047120981

A-001